



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## HISTORICKÝ VÝVOJ NÁPRAV VOZIDEL DEVELOPMENT OF TRANSAXLES IN AUTOMOBILES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

VOJTĚCH KUBIŠ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

prof. Ing. VÁCLAV PÍŠTĚK, DrSc.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2012/13

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Vojtěch Kubiš

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Historický vývoj náprav vozidel**

v anglickém jazyce:

#### **Development of transaxles in automobiles**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracovat a kriticky zhodnotit historický vývoj náprav vozidel.

Cíle bakalářské práce:

Soustředit dostupné poznatky o historickém vývoji náprav, zejména u osobních vozidel.

Vybraná zajímavá konstrukční řešení náprav dokumentovat obrazovou formou a technickým popisem.

**Seznam odborné literatury:**

**REIMPELL, J., STOLL, H., EDWARD, A.** The automotive chassis - engineering principles.  
Arnold, London 1996. ISBN 0-340-61443-9.

**Basshuysen, R.:** Handbuch Verbrennungsmotor. ISBN 978-3-8348-0227-9

**Heissing, B.:** Fahrwerkhandbuch. ISBN 978-3-8348-0105-0

**Firemní literatura.**

**Internet.**

**Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.**

**Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.**

**V Brně, dne 15.11.2012**



**prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.**  
Ředitel ústavu

**prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.**  
Děkan



## ABSTRAKT

V této bakalářské práci je popsán historický vývoj náprav vozidel, zároveň je zde uveden přehled typů náprav s technický popisem, výhodami a nevýhodami. Pozornost je věnována také historickému vývoji odpružení a tlumení vozidel s popisem vybraných systémů. V práci jsou popsána konstrukční řešení podvozků vybraných automobilů.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Náprava, odpružení, tlumení, tuhá náprava, náprava De Dion, kyvadlová náprava, lichoběžníková náprava, náprava MacPherson, kliková náprava, víceprvková náprava, hydraulický tlumič, hydropneumatické odpružení, pneumatické odpružení

## ABSTRACT

This bachelor thesis is concerned of development of transaxles in automobiles. Overview of types of axles is mentioned here as well as their working principles. Attention is also given to suspension and damping with description of how it works. In this thesis are described solutions of selected cars suspensions.

## KEYWORDS

Axle, suspension, damping, live axle, beam axle, DeDion axle, swing axle, double wishbone suspension, MacPherson strut, multilink suspension, hydraulic shock absorber, hydropneumatic suspension, air suspension



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KUBIŠ, V. *Historický vývoj náprav vozidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 50 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením prof. Ing. Václava Píštěka, DrSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 16. května 2013

.....

Vojtěch Kubiš



## PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat prof. Ing. Václavu Píštěkovi, DrSc. za ochotný přístup a rady při vedení mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Michalu Šenkyříkovi, Bc. Michalu Friedlovi a Jiřímu Smělému za doplňující rady, postřehy a poznámky. Taktéž bych chtěl poděkovat mé rodině za podporu při studiu.



## OBSAH

Úvod .....	9
1 Historie automobilu .....	10
1.1 Prvotiny a rozkvět .....	10
1.2 Sériová výroba a moderní automobil .....	11
1.3 Poválečný vývoj .....	12
1.4 Doba krátce minulá a současnost .....	13
2 Geometrie vedení kola .....	14
2.1 Historický vývoj .....	14
2.2 Základní rozdělení náprav a jejich vlastnosti .....	18
2.2.1 Tuhá náprava .....	18
2.2.2 Náprava De Dion .....	19
2.2.3 Kyvadlová náprava .....	20
2.2.4 Lichoběžníková náprava .....	21
2.2.5 Náprava MacPherson .....	22
2.2.6 Kliková a kyvadlová úhlová náprava .....	23
2.2.7 Víceprvková náprava .....	24
3 Odpružení a tlumení vozidla .....	25
3.1 Historický vývoj .....	25
3.2 Prvky odpružení a tlumení vozidla .....	29
3.2.1 Teleskopický hydraulický tlumič .....	29
3.2.2 Hydropneumatické odpružení .....	30
3.2.3 Pneumatické odpružení .....	31
4 Řešení podvozkových skupin vybraných automobilů .....	32
4.1 Ford Model T – 1908 .....	32
4.2 Citroen 2CV – 1948 .....	33
4.3 Cadillac Eldorado Brougham – 1957 .....	34
4.4 Chevrolet Corvair – 1959 .....	35
4.5 BMW New Class – 1962 .....	36
4.6 Alfa Romeo Alfetta – 1972 .....	37
4.7 Volkswagen Golf – 1974 .....	38
4.8 Mercedes-Benz 190 – 1982 .....	39
4.9 Mazda MX-5 – 1990 .....	40
4.10 Koenigsegg Agera R – 2011 .....	41
Závěr .....	42





## ÚVOD

Automobil je s člověkem už více než sto let a za tu dobu prodělal obrovský posun ve všech svých oblastech. Setkáváme se s ním každodenně a postupně se stal téměř synonymem pro individuální osobní dopravu. Svou pozici si vydobyl také na poli lehké nákladní dopravy, jako pracovní nástroj a v neposlední řadě také ve sportu. Jsou tak na něj kladeny mnohé požadavky v podobě komfortu, ceny, spolehlivosti a bezpečí. Obzvláště v poslední době se výrazně zvýšil důraz na bezpečnost a to jak na jeho pasivní, tak na aktivní složku. Pro téma této bakalářské práce je důležitější aktivní složka. Ta je dána nejen dobrými brzdami, výhledem z vozidla, osvětlením nebo pozicí za volantem, ale v neposlední řadě také jízdními vlastnostmi.

Jízdní vlastnosti jsou klíčovým prvkem bezpečnosti při jakékoli situaci, kdy se přilnavost pneumatiky přiblíží ke svým limitům. Dnes to znamená především při nouzovém brzdění, vyhýbacím manévru, jízdě po velmi nerovném povrchu nebo při jízdě za zhoršených klimatických podmínek. Zpravidla platí, že v moderním automobilu na suchém kvalitním asfaltu limitů pneumatik při běžné jízdě nedosáhneme, neboť aby se tak stalo, museli bychom jet rychlostí, kterou už obvykle vnímáme jako nebezpečnou. V minulosti to však platit nemuselo, kvalita pneumatik byla na podstatně nižší úrovni, stejně tak jízdní vlastnosti.

Ty jsou dány několika základními prvky. V první řadě se jedná o geometrii vedení kola, tedy typ nápravy. Ten má zásadní vliv na polohu kola vůči vozovce při propružení a tedy na velikost styčné plochy mezi pneumatikou a povrchem. Dalšími klíčovými prvky jsou odpružení a tlumení. Tyto prvky mají společný úkol zajistit stálý styk pneumatiky s vozovkou při jízdě po nerovném povrchu a to při zachování maximálního možného komfortu. Třetím významným prvkem je samotná pneumatika, neboť přenáší všechny působící síly a navíc je zatížena silou odstředivou.

Cílem mé bakalářské práce je soustředit dostupné poznatky o historickém vývoji náprav vozidel. Postupně historicky zhodnotím všechny výše zmíněné prvky podvozku a v další části této bakalářské práce popíšu zajímavá nebo historicky důležitá konstrukční řešení.



# 1 HISTORIE AUTOMOBILU

## 1.1 PRVOTINY A ROZKVĚT

Pomineme-li éru okolo Cugnotova parního tahače vojenských děl, která ve výsledku skončila neúspěchem, dostaneme se až do éry konce 19. století, kdy nastal první opravdový rozkvět automobilů se spalovacím motorem. V roce 1866 vyvinul konstruktér Nicolaus Otto první čtyřdobý spalovací motor a éra automobilů mohla začít. V roce 1885 obdržel německý mechanik Gottlieb Daimler patent na "vozidlo na kolech poháněné plynovým nebo petrolejovým motorem, umístěným pod sedadlem a mezi zadními nápravami". Téhož roku dostal jeho krajan Karel Benz patent na "kočár bez koní poháněný benzínovým motorem".

V roce 1894 byl uspořádán na trati dlouhé 126 km (Paříž-Rouen) první automobilový závod. Vozidla již měla pneumatiky vyvinuté ve spolupráci Dunlopa a bratrů Michelinů. V následujícím roce se konal ještě delší závod na 1200 km dlouhé trati Paříž-Bordeaux-Paříž. Startovalo dvanáct vozů se spalovacími motory, šest parních motorových vozidel a dokonce i jeden elektromobil. Vozy poháněné párou závod nedokončily. „Vítězem“ se stal dvoumístný Panhart-Levassor. Paříž jej uvítala po necelých 49 hodinách, byl nejrychlejší. Kupodivu oficiálním vítězem se však stal Peugeotův automobil. Přijel asi o jednu hodinu později, ale na stupně vítězů ho přivedla jeho čtyři sedadla.

Vzhledem k dnešnímu směřování automobilek snažících se vytvořit hybridní nebo čistě elektrický model nelze neopomenout pokusy s elektromobily už v době vzniku automobilů. Ty byly ve své době poměrně konkurenceschopné, jejich výhodami byla jednoduchá konstrukce a obsluha, nevýhodami vysoká hmotnost a nízký dojezd. Zpočátku využívaly olověné baterie, později Thomas Edison ve spolupráci s Henrym Fordem vytvořili elektromobil na základech Modelu T, ten však již nebyl schopen obstát, neboť výhoda jednoduché skladnosti kapalného paliva se stala určující v dalším směru vývoje. [1][2]



*Obr. 1-1 Benzova motorová tříkolka, 1888 [3]*



## 1.2 SÉRIOVÁ VÝROBA A MODERNÍ AUTOMOBIL

Na začátku 20. století vrcholil souboj mezi automobily poháněnými párou, benzínem a elektřinou. Postupně docházelo k převaze benzínových automobilů nad ostatními. Objevilo se mnoho dodnes používaných technologií jako například více ventilová hlava válců nebo rozvod DOHC. Jelikož nebyly zavedeny žádné standardy, vznikaly různé koncepty s více motory, pohonem všech čtyř kol nebo například motory s mazáním velrybím tukem. Zkrátka každý, kdo měl nápad a viděl v automobilech budoucnost, mohl začít podnikat a obvykle se dočkal úspěchu.

Stále více se však projevovala nízká kapacita výroby v kontrastu s velkou poptávkou po levných automobilech. Zcela prvním sériově vyráběným autem se stal Oldsmobile Curved Dash. Nejednalo se však o sériovou výrobu v dnešním slova smyslu, spíše o dobře zorganizovanou postupnou manufakturu. Opravdovou pásovou výrobu zavedl až Ford u svého Modelu T v roce 1908. Výsledkem bylo, že Fordovy automobily sjížděly z linky v třiminutových intervalech, mnohem rychleji než při použití předchozích výrobních postupů, za současného růstu produktivity osm ku jedné (předtím bylo potřeba na výrobu vozu 12,5 hodin práce, po zavedení montážní linky byla potřeba 1 hodina a 33 minut) za použití menší pracovní síly.[4] Už v roce 1914 vyrobil Ford více automobilů, než všichni ostatní výrobci dohromady a když vyrobil 10 miliontému vozidlo, tak 9 z 10 automobilů na světě neslo jeho logo.

Postupně se stalo standardním ovládání vozidla pomocí volantů, pedálů a řadicí páky. Okolo roku 1929 mělo 90% nových vozidel střechu, objevily se první hydraulické brzdy, první automatická převodovka nebo okna z tvrzeného skla. [5] Lancia Lambda měla už v roce 1922 nezávislé zavěšení přední nápravy a samonosnou karoserii. Objevují se první automobily s integrovanými blatníky a moderní karoserií typu ponton, která později zcela převládne. Více a více se také objevují automobily s poháněnou přední nápravou, Citroen Traction Avant se stává prvním masově vyráběným předohnaným vozidlem. Dohromady do roku 1956 vzniklo přibližně 760 tisíc kusů. [6]



Obr. 1-2 Hanomag 2/10 PS, 1925 [7]



### 1.3 POVÁLEČNÝ VÝVOJ

Válka vývoj automobilu pochopitelně zpomalila, na druhou stranu přinesla nové technologie a zároveň také nutnost zásobovat velké armády přinesla výstavbu dálnic. A těm byl přizpůsoben i budoucí vývoj automobilů. Adolf Hitler zadal Ferdinandu Porsche úkol zkonstruovat lidové vozidlo schopné převést 4 osoby v dálničním tempu. Ten se inspiroval u Tatry a výsledkem byl Volkswagen Type 1, lidově zvaný Brouk. Měl čtyřválcový vzduchem chlazený motor typu boxer s výkonem později až 37 kW. Společně s Fiatem 500, Citroenem 2CV a britským Mini se stal symbolem poválečné motorizace Evropy. [8] Se zvyšující se rychlostí, kterou automobily dosahovaly, rostl požadavek na aerodynamiku. Průkopníkem v této oblasti byla Tatra, jejíž model T600 měl součinitel odporu vzduchu pouhých 0,32, což byla na svou dobu fantastická hodnota. [9] Určitým způsobem na Tatru navázala Lancia se svým modelem Aprilia, který byl prvním autem, jehož karoserie byla navržena v aerodynamickém tunelu. [10]

V šedesátých letech se mezi výrobci automobilů utvořil nový trend, kdy jedna automobilka odkupuje druhou. Tento trend začal v Itálii, kde Fiat koupil Lancii a Ferrari, ty však nadále prodávaly automobily pod svým jménem. Toto štěstí mnoho jiných odkoupených automobilek nemělo a tak se celkový počet výrobců postupně snižoval. Naopak se však zvyšoval počet nabízených modelů od jedné automobilky, dříve běžné jeden až dva typy se rozrostly na mnohem větší nabídku, zákazníci si mohli vybrat také motorizaci, výbavu nebo dokonce typ karoserie, kromě běžného sedanu nebo hatchbacku také kombi, kupé, kabriolet, nebo například shooting brake, tedy kříženec mezi kombi a kupé. V šedesátých a sedmdesátých letech se objevují dosud nevídané technologie jako motory přepínávané turbodmychadlem, mechanické a později také elektronické vstřikování paliva, hydropneumatické pérování, rotační Wankelův motor nebo nakonec neúspěšně turbínou poháněné automobily. [11]

Šedesátá a sedmdesátá léta byla také rájem pro sportovní automobily. Lidé přestávali vnímat automobil jen jako dopravní prostředek a stále populárnější motorsport vedl k stále větším prodejm sportovních automobilů. Typickým příkladem budiž americké „muscle cars“ a „pony cars“, tedy například Chevrolet Camaro a Ford Mustang. Sportovním automobilům se dařilo i v Evropě, v Německu vznikla legenda jménem Porsche 911, v Británii se narodil Jaguar E-Type, v Itálii rozkvétalo Ferrari do své plné krásy a Alfa Romeo vyráběla jeden z prvních sportovně orientovaných rodinných automobilů – Giuliettu. Nelze zapomenout ani na Datsun 240Z, který nejen, že byl jeden z prvních japonských sportovních automobilů, ale především také svými dobrými prodeji na severoamerickém kontinentu ukázal, že se s Japonskem jako automobilovou velmocí musí do budoucna počítat. [12]



Obr. 1-3 Porsche 911 z roku 1963[13]



Obr. 1-4 Alfa Romeo Giulietta, 1954[14]





## 1.4 DOBA KRÁTCE MINULÁ A SOUČASNOST

Vývoj automobilů se zdál být ve svém nejlepším, když přišel šok v podobě ropné krize v roce 1973. Znamenala prudké zdražení pohonných hmot a dotkla především severoamerického trhu, kde byla spotřeba automobilů typicky velmi vysoká. Zároveň znamenala také zavedení emisních limitů. Od této chvíle výrobci mnohem více hledí na spotřebu a na množství a škodlivost vypouštěných výfukových plynů. A tak se stále více dostává ke slovu elektronické vstřikování, později také katalyzátor výfukových plynů.

Se snahou o snížení spotřeby úzce souvisí také nástup naftových motorů do osobních automobilů. V Evropě měl značný úspěch Mercedes se svými naftovými motorizacemi, později se k němu připojil Peugeot, Volkswagen a postupně všichni velcí výrobci automobilů. V Americe byla situace složitější, naftový motor se zde (s výjimkou importů) objevuje až koncem sedmdesátých let, kdy Oldsmobile představí svůj osmiválcový diesel. Ten je bohužel velmi poruchový, čímž je celá myšlenka naftového osobního auta v USA značně znehodnocena a tamější trh tím trpí dodnes. Významný je také přínos Fiatu, v jehož modelu Croma se v roce 1986 poprvé objevil diesel s přímým vstřikováním paliva. [15]

V osmdesátých letech se automobil s karoserií hatchback stává zcela dominantním typem a každá velká automobilka jej musí mít v nabídce, snad s výjimkou prémiového trhu, kde si klasický sedan udržel svou pozici až dodnes. Dalším typem karoserie, který zažívá v osmdesátých a následně i devadesátých letech svůj rozkvět je MPV, tedy víceúčelové vozidlo oplývající prostorem s pěti a více místy k sezení. Průkopníkem a prvním opravdu komerčně úspěšným vozidlem této kategorie byl Renault Espace vyráběný od roku 1984. Ke slovu se také poprvé v historii dostalo vozidlo kategorie SUV, tedy sportovně užitkové vozidlo kombinující 4x4 offroad a běžný automobil určený pro silnice. Za prvotinu této kategorie bývá považován Land Rover Range Rover.

V době velmi krátce nedávné se díky stále přísnějším emisním normám začaly objevovat automobily s hybridním pohonem. To je systém, kde spalovacímu motoru pomáhá elektromotor (nebo jej může i zcela nahradit) napájený bateriemi, které se dobíjí při brzdění, případně mohou být nabíjeny z elektrické sítě. V současnosti se objevují také čistě elektrické vozidla, zatím mají velmi krátký dojezd, dlouhou dobu nabíjení a obvykle vysokou cenu, která brání jejich většímu rozšíření. Současně se také objevuje trend downsizingu, tedy snižování objemu motorů a větší uplatnění přeplňování, avšak praktický přínos této technologie je sporný. Do budoucna můžeme očekávat rozvoj hybridních a čistě elektrických technologií, stejně jako snahu o zvýšení účinnosti spalovacích motorů.



Obr. 1-5 Renault Espace, 1984 [16]



Obr.1-6 Tesla Model S, 2013, 1. čistě elektrický sedan [17]



## 2 GEOMETRIE VEDENÍ KOLA

### 2.1 HISTORICKÝ VÝVOJ

Pomineme-li úplně první experimentální automobily, kde byly kola ke zbytku vozidla připevněna na pevně v ložiscích bez jakékoli možnosti vzájemného pohybu, tak se dá říci, že se podvozek prvních automobilů vyvinul z podvozků kočárů taženými koňmi. Ty byly obvykle velmi jednoduché konstrukce s použitím dvou tuhých náprav vedenými a zároveň odpruženými listovými pery. Vzhledem k velmi špatné kvalitě cest a absenci pneumatik byly tyto vozidla poměrně nekomfortní i při nízkých rychlostech, které dosahovaly.

S pokračující dobou se ukázalo natáčení předních kol pomocí natočení celé nápravy jako nevhodné a tak bylo rychle nahrazeno otočnou těhlicí. Postupně se objevovaly i jiné provedení obou tuhých náprav, například s listovými pery otočenými příčně a nápravou vedenou pomocí dvou šikmých ramen. Tuhá náprava byla suverénně nejpoužívanějším řešením zavěšení předních i zadních kol až do začátku dvacátých let.

V roce 1923 se na trhu objevila Lancia Lambda, první sériově vyráběný automobil se samonosnou karoserií namísto rámové. Velmi inovativní byla také v oblasti podvozku, protože byla jeden z prvních sériově vyráběných automobilů s nezávislým zavěšením předních kol. To bylo zajištěno pomocí kluzákového závěsu, tedy systému, kde se těhlice, uložení kola a náboj pohybovaly nahoru a dolů po svislém pilíři, který byl pevně kotven ke karoserii pomocí jednoduchého trubkového rámu. [18]



*Obr. 2-1 přední nezávislé zavěšení vozu Lancia Lambda 1923 [19]*



V roce 1932 se na trhu objevil Citroen Rosalie s lichoběžníkovou přední nápravou, bylo to vůbec první vozidlo s takto řešenou přední nápravou. Dva roky poté byl představen Citroen Traction Avant využívající stejné řešení, nicméně přední náprava se zároveň stala hnací. [6] Podobné řešení se objevilo také na voze Rolls-Royce Phantom III v roce 1936. Od této doby byla lichoběžníková přední náprava používána stále častěji. V USA byla poprvé představena v roce 1935 společností Packard Motor Company na voze One-Twenty. Dobové reklamy tento tah podporovaly slogany o zvýšené bezpečnosti. Postupně se objevovaly různé variace na lichoběžníkovou nápravu, například nahrazení spodního ramena příčným listovým perem.

Krátce před příchodem Druhé světové války se začalo objevovat stále více různě řešených nezávislých zavěšení kol. Vozy Tatra měly nezávislé zavěšení všech čtyř kol, vzadu řešené pomocí kyvadlových náprav, vpředu pomocí lichoběžníkové nápravy. [20] Volkswagen Brouk, ač byl dostupným vozidlem, byl zároveň velmi technologicky vyspělý. Byl inspirován Tatrou a tak měl nezávislé zavěšení všech kol, přední náprava byla vedena pomocí dvou vlečených ramen odpružených zkrutnými tyčemi, zadní byla kyvadlového typu. [21] Po válce se trend automobilů s hnací zadní nápravou kyvadlového typu dále rozvíjel, obzvlášť v případě menších automobilů.



*Obr. 2-2 Zadní kyvadlová náprava vozu Porsche 356, 1948-1965 [23]*

V USA pro tamější větší a těžší automobily byla tato náprava nevhodná a tak stále přetrvávala tuhá hnací zadní náprava. Ta přetrvávala i u výkonných evropských vozidel jako například Ferrari 250.[22] Při použití vinutých pružin namísto listových per musela být zadní náprava vedena v podélném směru pomocí vlečených ramen a pro vedení v bočním směru bylo obvykle použito Panhardské tyče, později Wattova přímovodu. Tuhá zadní náprava byla mnohdy nahrazována nápravou typu De Dion, ve čtyřicátých letech na závodních vozidlech tehdejší Grand Prix jako například Mercedes W125, později také na sériově vyráběných sportovních nebo sportovně orientovaných automobilech, jako například Mazda Cosmo, Iso Grifo nebo většina modelů Alfy Romeo z osmdesátých let. [24]

Důležité prvenství si v roce 1948 připsal Ford Vedette.[25] Jednalo se totiž o první automobil s přední nápravou typu MacPherson. Autorem této nápravy je inženýr Earle Steele MacPherson, který ji původně navrhoval pro Chevrolet Cadet, General Motors však od jeho produkce v poslední chvíli upustila a Earle Steele MacPherson přešel ke konkurenčnímu Fordu. Dnes je náprava MacPherson jedno z nejčastěji používaných řešení napříč třídami automobilů. Svého úspěchu dosáhla také jako zadní náprava.





V padesátých letech se u menších vozů začíná objevovat nezávislé zavěšení zadních kol pomocí klikové nápravy (též náprava s vlečenými rameny). Objevuje se jak u automobilů s předními, tak také se zadními poháněnými koly. Příkladem budiž Fiat 500, Austin Mini nebo Citroen 2CV. Později se tato náprava objevuje v kombinaci se zkrutným elementem spojujícím levé a pravé rameno a snižujícím náklon karoserie při jízdě v zatáčkách. Tento typ nápravy doznal v nedávné minulosti velkého rozšíření podobně jako náprava MacPherson.

Jakousi kombinaci mezi kyvadlovou a klikovou nápravou představuje kyvadlová úhlová náprava (též náprava s polovlečenými rameny). Ta díky poměrně jednoduché konstrukci a dobrým jízdním vlastnostem nachází své uplatnění v širokém spektru automobilů, obvykle sportovně orientovaných. Jako první byla představena na vozidle Lancia Aurelia v roce 1950 a později se objevila například na první generaci Porsche 911, Nissan 200SX S12, nebo všechny vozy značky BMW (s výjimkou M1) počínaje Neue Classe v roce 1962 až do příchodu BMW řady 8 v roce 1989. [26]



*Obr. 2-3 Kyvadlová úhlová náprava BMW E34, 1988 [27]*

V průběhu šedesátých a sedmdesátých let se objevují různé specifické zavěšení zadních kol jako například Jaguar IRS (Independent Rear Suspension) poprvé představená na Jaguaru E-Type v roce 1961 a později použitá na mnoha jiných vozidlech značky Jaguar.[28] V sedmdesátých letech byla na vozidle Porsche 928 použita jiná specifická náprava zvaná Weissach. Podobné, ale jednodušší řešení bylo použito i na vozu Mazda RX-7. Obě tyto specifické zadní nápravy měly za úkol snižovat přetáčivost výkonných zadohnaných vozidel.[29]



*Obr. 2-4 Jaguar Independent Rear Suspension [30]*





S rozvojem počítačové techniky se začaly objevovat víceprvkové nápravy. Jednalo se o prostorově složité nezávislé zavěšení složené z několika ramen namáhaných na tah nebo tlak. Jedno z prvních vozidel s víceprvkovou nápravou byla Lancia Delta v roce 1979, měla dvě příčné ramena a jedno podélné vlečené rameno. Ve svislém směru bylo kolo vedeno vzpěrou MacPherson. V průběhu let se objevují jinak řešené víceprvkové zavěšení, mění se počet a směřování ramen pro dosažení optimálního kinematického pohybu kola. V posledních letech je touto nápravou vybavena většina vozů vyšších tříd. [31]



*Obr. 2-5 zadní víceprvková náprava vozu Nissan Sunny N13, 1986. Podélná vlečená ramena jsou zároveň zkrutným stabilizátorem.[32]*

Od osmdesátých let se u předohnaných sportovních automobilů začíná objevovat systém natáčení zadní nápravy pro snížení nedotáčivosti. Vznikly dva způsoby, jak tohoto dosáhnout. Pasivně, tedy pomocí speciálních gumových pouzder s definovanou deformací při zatížení, například na vozidlech Peugeot 306 nebo Alfa Romeo GTV 916. Nebo aktivně, kdy se zadní kola natácejí ve směru zatáčky při velkém poloměru opisovaného oblouku a proti směru zatáčky při malém poloměru. První vozidlo vybavené touto technologií byl Nissan Skyline 1985 (elektronicky), později třetí generace Hondy Prelude 1987 (mechanicky) [33][34].



*Obr. 2-6 Honda Prelude 4WS, 1987[35]*

Do budoucna se dá očekávat další rozvoj víceprvkových náprav v kombinaci s modifikacemi nápravy MacPherson. U levných automobilů bude na zadních kolech ještě dlouho převládat jednoduchá kliková náprava. Můžeme odhadovat i rozšiřování systému natáčení zadní nápravy.

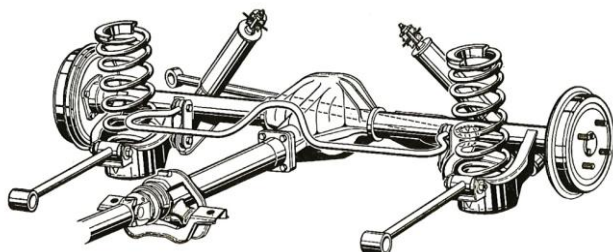
## 2.2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ NÁPRAV A JEJICH VLASTNOSTI

V předchozí podkapitole bylo pojednáno o historickém vývoji náprav. O konstrukčním provedení, výhodách a nevýhodách výše zmíněných náprav bude pro vyšší přehlednost pojednáno v této podkapitole.

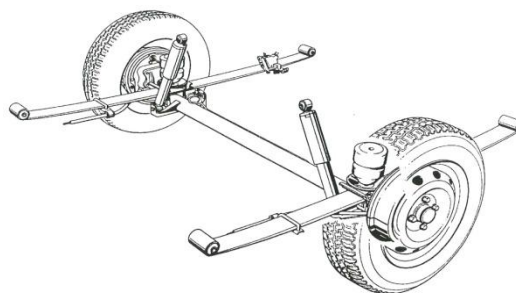
### 2.2.1 TUHÁ NÁPRAVA

Tuhá náprava představuje klasické závislé zavěšení kol. To znamená, že jsou obě kola pevně spojena nosníkem. Bývá vedena listovými pery nebo v podélném směru vlečenými (případně tlačnými) rameny a v příčném směru Panhardskou tyčí, Wattovým přímovodem nebo Scott-Russellovým mechanismem. Při oboustranném propružení se nemění rozchod kol, nedochází ani ke změně odklonu kol neboť jsou vždy kolmo (případně v jiném pevně definovaném úhlu) k vozovce. Při vhodném nastavení vodících ramen může nosník nápravy sloužit také jako zkrutný element snižující náklon karoserie při jízdě v zatáčkách.

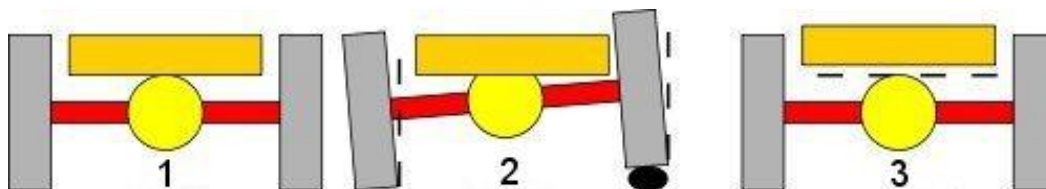
Výhodami jsou jednoduchá a pevná konstrukce bez kloubů a čepů, nenáročná údržba a vysoká trvanlivost, stálý styk celé šířky běhounu pneumatiky s vozovkou a stále stejný rozchod kol. Nevýhodami jsou vysoká neodpružená hmotnost, obzvláště u hnané nápravy, kdy je diferenciál a část kardanu také součástí neodpružených hmot. S tím souvisí zhoršení jízdních vlastností na nerovném povrchu. Další nevýhodou je větší potřebný prostor k propružení a tudíž menší využitelný prostor karoserie, případně její vyšší stavba a tím způsobené vyšší těžiště automobilu. Avšak hlavní nevýhodou je fakt, že při jednostranném propružení dochází k změně odklonu obou kol a tudíž při jízdě po nerovném terénu k zhoršení jízdních vlastností vozidla. [36]



Obr. 2-7 Hnaná tuhá náprava vedena vlečnými rameny a Panhardskou tyčí [36]



Obr. 2-8 Hnaná tuhá náprava vedena listovými pery [36]



Obr. 2- 9 Schéma propružení tuhé nápravy

1 - klid, 2 - jednostranné propružení, 3 - oboustranné propružení



### 2.2.2 NÁPRAVA DE DION

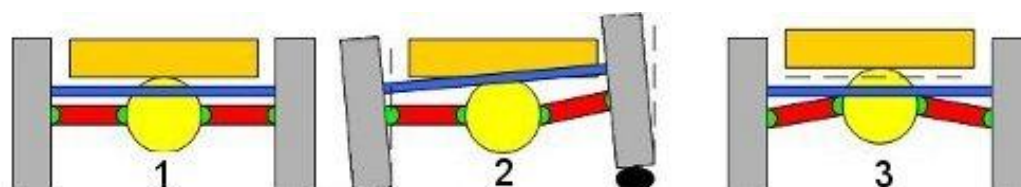
Náprava typu De Dion bývá označována za kompromis mezi tuhou nápravou a nezávislým zavěšením, ačkoli to není zcela přesné vyjádření. Lépe by se dala vystihnout jako zdokonalená tuhá náprava. Bývá použita výhradně jako hnací náprava. Stejně jako u tuhé nápravy jsou obě kola spojena nosníkem, který zajišťuje jejich stálé vzájemné postavení. Náprava De Dion může být vedena stejným způsobem jako tuhá náprava. Na rozdíl od tuhé nápravy je diferenciál pevně kotven ke karoserii nebo rámu vozidla a tak jsou podstatně sníženy neodpružené hmoty.

Výhodami jsou už zmíněné podstatně nižší neodpružené hmoty ve srovnání s hnací tuhou nápravou, stále stejný rozchod kol, nulová změna odklonu při oboustranném propružení, stále kolmé postavení kol vůči vozovce a relativně jednoduchá konstrukce bez čepů. Nevýhodami jsou nutnost použití kloubových hřídelů s proměnnou délkou, jejichž hmotnost se částečně připočítává k neodpruženým hmotám, vyšší výrobní cena a další nevýhody totožné s hnanou tuhou nápravou. [24]

Speciální případ nápravy De Dion se objevil na vozidle Rover P6, kde byl použit teleskopický nosník nápravy a tudíž nebylo potřeba použití kloubových hřídelů s proměnnou délkou. [37]



Obr. 2 – 10 Náprava De Dion [38]



Obr. 2- 11 Schéma propružení nápravy De Dion

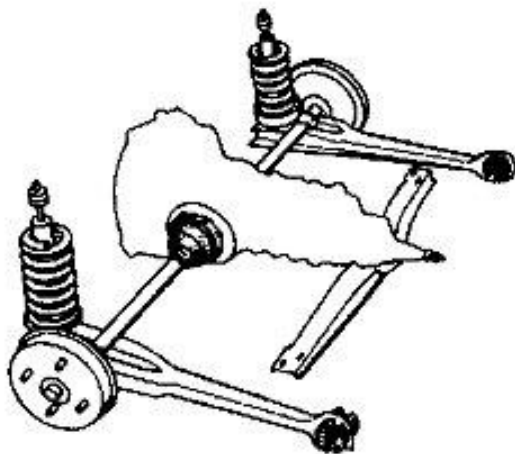
1 - klid, 2 - jednostranné propružení, 3 - oboustranné propružení



### 2.2.3 KYVADLOVÁ NÁPRAVA

Kyvadlová náprava je jedním z nejjednodušších nezávislých zavěšení používaných pro zadní hnací nápravu. Jedná se o nápravu, kde je hnací hřídel vždy souosý s kolem a křížový kloub se nachází jen na straně u diferenciálu. Následkem toho dochází při jedno i oboustranném propružení k značné změně odklonu kola a ke změně rozchodu kol. Tím se sníží styčné plochy pneumatiky s vozovkou a zhorší se jízdní vlastnosti. Vozidlo může být velmi přetáčivé při akceleraci i brzdění, v extrémních případech stačí pro vyvolání přetáčivosti pouhé ubrání plynu v zatáčce, což může být pro mnoho řidičů náročné na zvládnutí. Proto vzniklo několik systému snažících se přetáčivosti zabránit. Jedním z nich je posunutí otočného bodu dále od kol a tím snížení množství vzniklého odklonu při propružení. Dalším je instalace zkrutného stabilizátoru na přední nápravu nebo instalace tužších pružin, obojí však za cenu snížení komfortu. Kyvadlová náprava bývá vedena nejčastěji vlečenými a (nebo) příčnými rameny, listovými pery a zřídka podélnými zkrutnými tyčemi.

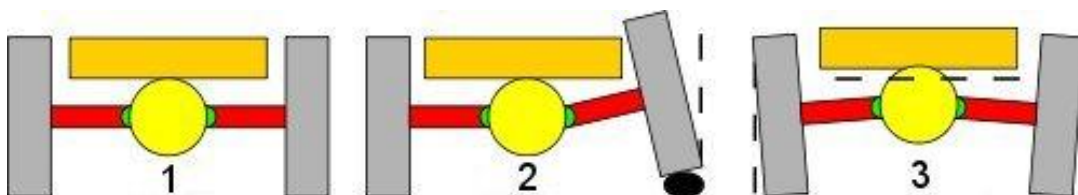
Výhody kyvadlové nápravy jsou výrazně nižší neodpružená hmotnost ve srovnání s tuhou nápravou, jednoduchá konstrukce bez nutnosti použití hnacích hřídelů s proměnnou délkou a zanedbatelná změna sbíhavosti při propružení. Hlavní výhodou je nezávislost kol na vzájemném pohybu a s tím spojená teoretická vyšší kvalita jízdy po asymetricky nerovném povrchu. Nevýhodami jsou především značná změna odklonu kol a změna rozchodu kol při propružení a s tím spojené diskutabilní jízdní vlastnosti. Při rychlé jízdě v zatáčkách měla zadní náprava tendence přizvedávat karoserii a tím jízdní vlastnosti ještě zhoršovat. Negativní odklon po zatížení vozidla způsobuje také nerovnoměrné opotřebení pneumatik. Kvůli těmto vlastnostem se tento typ nápravy dnes na poli osobních automobilů takřka nepoužívá. [39][40]



Obr. 2 – 12 Kyvadlová náprava [41]



Obr. 2 – 13 Přizvedávání karoserie vozu Triumph Herald při rychlé jízdě v zatáčce [40]



Obr. 2 - 14 Schéma propružení kyvadlové nápravy

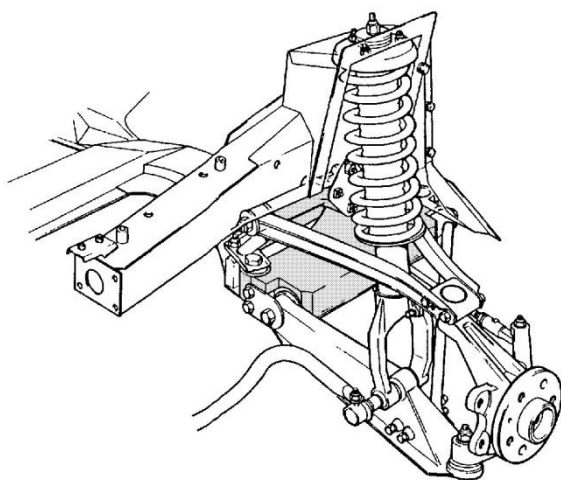
1 - klid, 2 - jednostranné propružení, 3 - oboustranné propružení



## 2.2.4 LICHOBĚŽNÍKOVÁ NÁPRAVA

Lichoběžníková náprava je nezávislé zavěšení kol realizované pomocí dvou příčných ramen obvykle tvaru písmene A. Jejich prostřednictvím jsou kola zavěšena ke karoserii, popřípadě rámu vozidla. Ramena jsou obvykle různých délek, kdy horní z nich je kratší. Při propružení lichoběžníkové nápravy se mění odklon, sbíhavost a rozchod kol, nicméně vhodnou volbou délek a tvaru příčných ramen můžeme tyto vlastnosti velmi dobře optimalizovat a dosáhnout výborné kinematiky vedení kola. Ramena bývají uložena v pryžových pouzdrech a k těhlici jsou kotvena přes kulový čep. Odpružení bývá obstaráno pružinou, která je obvykle kotvena ke spodnímu většímu ramenu, protože díky jeho menší úhlové výchylce nedochází k velkému vybočení pružiny. Lichoběžníková náprava může být odpružená zkrutnou tyčí kotvenou k jednomu z konců příčných ramen. Možná je i kombinace odpružení pomocí pružiny a zkrutné tyče. V mnoha závodních automobilech jsou za účelem snížení neodpružených hmot tlumiče a pružiny přesunuty dovnitř karoserie nebo rámu vozidla do vodorovné polohy. Jejich spojení s těhlicí nebo horním ramenem je realizováno pomocí vahadla a tyčí. Lichoběžníková náprava se používá jako přední, zadní, hnaná i hnací.

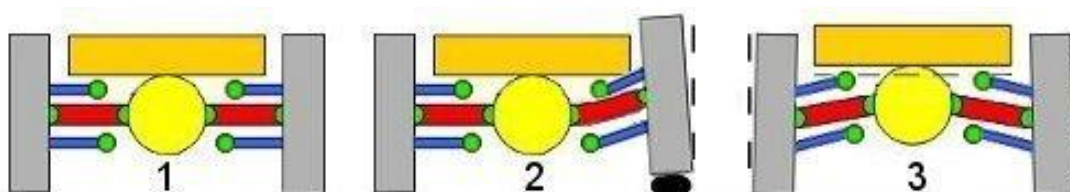
Lichoběžníková náprava platí za jedno z nejlepších řešení z hlediska jízdních vlastností vozidla. Kromě výše zmíněných výhod je také relativně jednoduché spočítat zatížení jednotlivých částí nápravy a tak se dá dobře optimalizovat jejich konstrukce a tím zajistit nízká neodpružená hmotnost. Zároveň se však jedná o poměrně komplikovanou nápravu s využitím složitě tvarovaných částí, kulových čepů a gumových pouzder. Lichoběžníková náprava je náročnější na servis a dražší na výrobu, zároveň se jedná o prostorově náročné uspořádání, což je nevýhodou hlavně u předohnaných vozidel s příčně uloženým motorem. [39][42]



Obr. 2 – 15 Lichoběžníková náprava [43]



Obr. 2- 16 Lichoběžníková náprava s vysokou těhlicí pro snížení ovládacích sil [44]



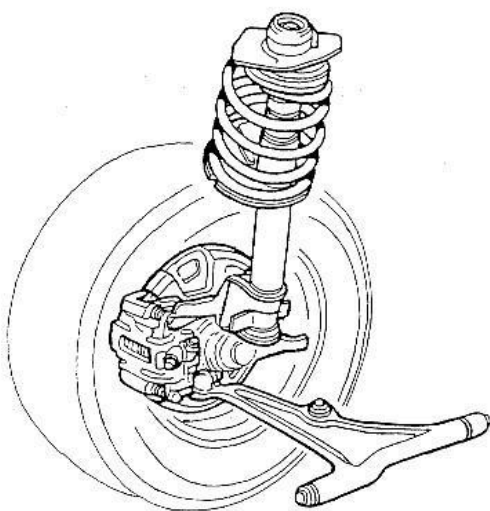
Obr. 2 - 17 Schéma propružení lichoběžníkové nápravy

1 - klid, 2 - jednostranné propružení, 3 - oboustranné propružení

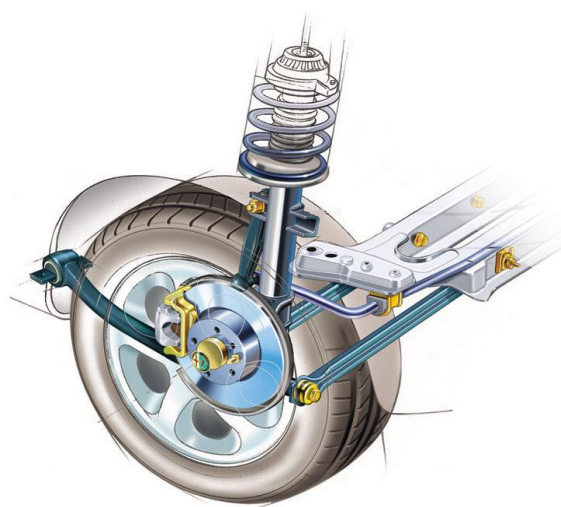
### 2.2.5 NÁPRAVA MACPHERSON

Náprava MacPherson vznikla z lichoběžníkové nápravy. Avšak na rozdíl od ní má namísto horního ramena posuvné vedení ve svislé vzpěře. Spodní rameno má obvykle trojúhelníkový tvar a s karoserií nebo rámem vozidla je spojeno přes kulové čepy nebo gumové pouzdra. Je-li tato náprava použita jako řídící, natačí se těhlice společně se svislou vzpěrou. V místě uložení vzpěry do karoserie tak musí být axiální ložisko nebo kulový čep. Vedení ve svislé vzpěře je obvykle tvořeno hydraulickým tlumičem. Při horním propružení vzniká negativní odklon a při dolním pozitivní odklon kol. Dochází také k změně rozchodu kol. Obě hodnoty jsou však velmi malé. O odpružení nápravy MacPherson se obvykle stará vinutá pružina, ta bývá uložena šikmo vůči ose tlumiče, to umožňuje snížit tření v tlumiči způsobené bočními silami. Nápravu MacPherson je možné odpružit i pomocí zkrutné tyče. Pro snížení náklonu karoserie při jízdě v zatáčkách se často uplatňuje zkrutný stabilizátor kotvený buď k spodnímu trojúhelníkovému ramenu nebo přímo k svislé vzpěře. Při použití vzpěry MacPherson na zadní nápravě bývá často užito několika podélných a příčných ramen k vedení kola, dá se tak považovat za víceprvkovou nápravu.

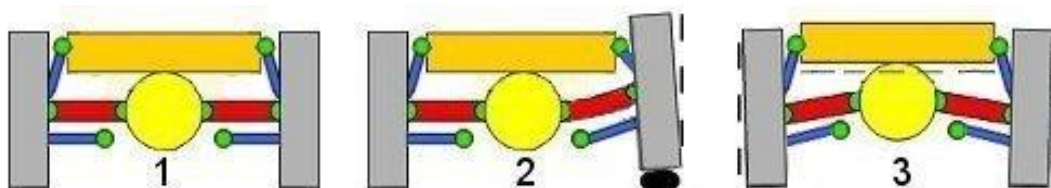
Hlavními důvody, proč je náprava MacPherson velmi rozšířená, jsou cenová dostupnost, jednoduchá konstrukce a prostorová úspornost. Zároveň lze nápravu MacPherson nastavit tak, aby byla míra odklonu kol při propružení přiměřená a tedy aby byly zajištěny dobré jízdní vlastnosti. Ty však obvykle nedosahují úrovně lichoběžníkové nápravy. Další z nevýhod tohoto řešení nápravy je tendence k přenosu hluku od kol přímo do karoserie, tomu se výrobci snaží zabránit pryžovými prvky v horním uložení příčné vzpěry. [39][25][45]



Obr. 2 – 18 přední náprava MacPherson [46]



Obr. 2 – 19 zadní hnaná náprava se vzpěrou MacPherson [47]



Obr. 2 – 20 Schéma propružení nápravy MacPherson

1 - klid, 2 - jednostranné propružení, 3 - oboustranné propružení



### 2.2.6 KLIKOVÁ A KYVADLOVÁ ÚHLOVÁ NÁPRAVA

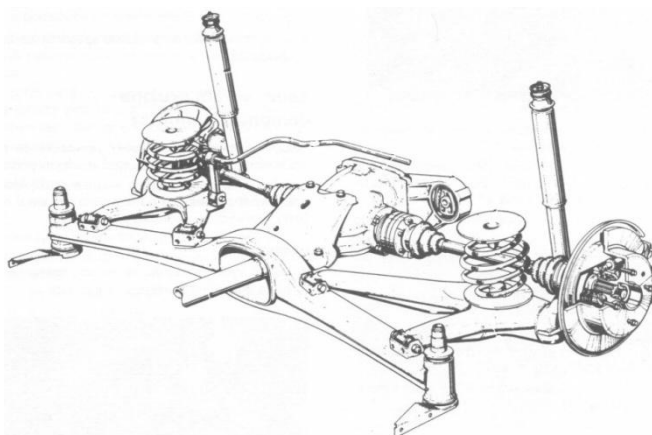
Kliková náprava (náprava s vlečenými rameny) bývá nejčastěji použita jako zadní hnaná nebo hnací náprava. Skládá se z dvou (na každé straně jedno) podélných ramen s příčnou osou kývání. Každé z ramen je kotveno do pomocného nosníku nebo přímo do karoserie a na každém z ramen je zavěšeno kolo. Kliková náprava může být odpružena pomocí příčných zkrutných tyčí, daleko častější je však odpružení pomocí vinutých pružin. Ty by měly být co nejblíže nad stopou pneumatik, aby se snížilo namáhání ložisek. V poslední době se stále častěji uplatňuje spojení obou ramen pomocí torzně poddajné příčky. Její vývoj je kvůli únavové námaze svárů technologicky poměrně složitou záležitostí. Zkrutná příčka mírně mění geometrii propružení a zároveň nahrazuje zkrutný stabilizátor, tedy snižuje náklon karoserie při jízdě v zatáčkách. V posledních letech se v kombinaci s klikovou nápravou uplatňuje také Wattův přímovod pro lepší vedení kol. [48]

Změnou úhlu osy kývání ramen můžeme ovlivnit míru vznikajícího odklonu a změny sbíhavosti při propružení. Taková náprava je pak jakousi kombinací klikové a kyvadlové nápravy a říká se jí kyvadlová úhlová náprava. Při horním propružení vzniká negativní odklon a sbíhavost, při dolním naopak. Vhodnou volbou úhlu kývání se dá nastavit ideální míra odklonu při průjezdu zatáčkou, což napomáhá jízdním vlastnostem. V případě hnací klikové i kyvadlové úhlové nápravy musíme řešit proměnnou délku hnacích hřídelů.

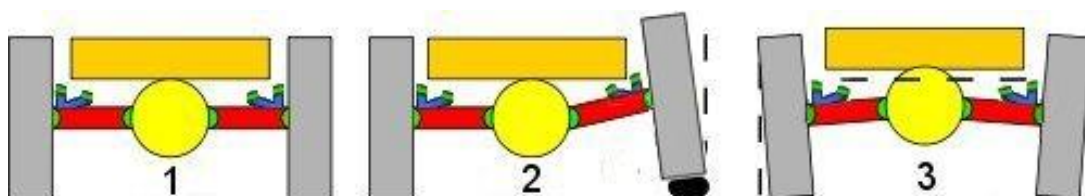
Výhodou obou zmíněných náprav je jednoduchost, snadný servis, potenciální odolnost, malá náročnost na prostor a dobré jízdní vlastnosti, obzvláště v případě kyvadlové úhlové nápravy. Torzní příčka na klikové nápravě téměř znemožňuje použití nápravy jako hnací kvůli problémům s umístěním diferenciálu a kardanu. Zároveň komplikuje vedení výfuku. Torzní příčka je vysoce namáhaná a tak je omezena nosnost této nápravy. V případě kyvadlové úhlové nápravy je hlavní nevýhodou změna odklonu a sbíhavosti při zatížení automobilu. Dochází tak k nerovnoměrnému opotřebení pneumatik. [49][50][39]



Obr. 2 – 21 Kliková náprava se zkrutnou příčkou a Wattovým přímovodem [51]



Obr. 2 – 22 Kyvadlová úhlová náprava [52]



Obr. 2 - 23 Schéma propružení kyvadlové úhlové nápravy

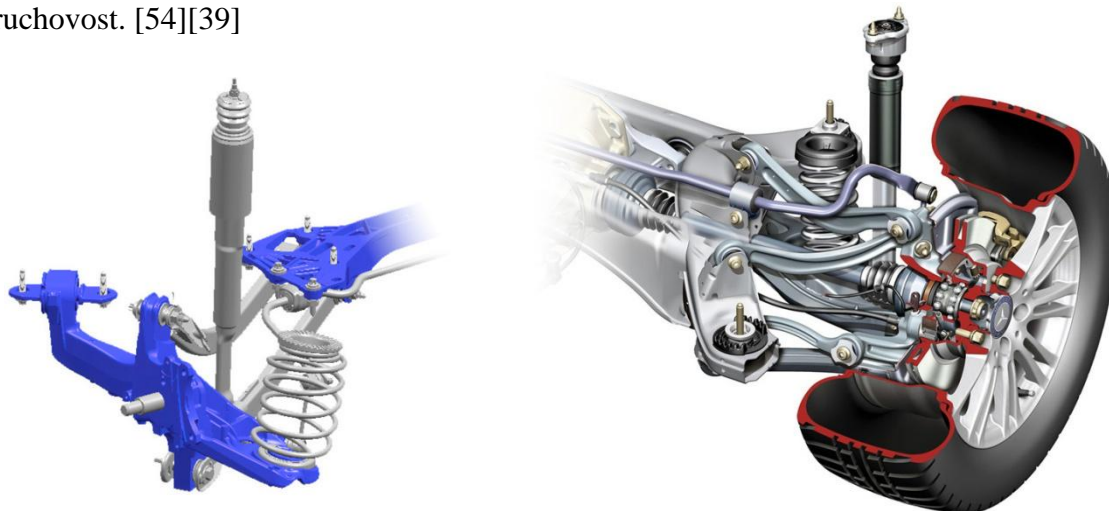
1 - klid, 2 - jednostranné propružení, 3 - oboustranné propružení



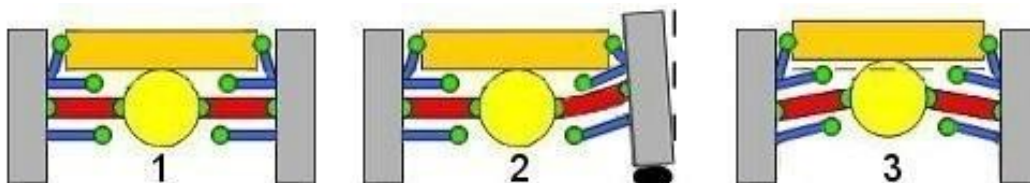
### 2.2.7 VÍCEPRVKOVÁ NÁPRAVA

Víceprvková náprava (často se pro ni používá výraz Multi-link) je složitým prostorovým mechanismem, který se skládá z několika ramen nebo jiných prvků různého tvaru, ty mají nejčastěji tvar tyče nebo trojúhelníku. Ramena jsou obvykle namáhána pouze na tah nebo tlak, pokud je rameno umístěna pružina nebo tlumič, může být namáhána také na ohyb. Ramena bývají obvykle svarky nebo odlitky, v poslední době se stále více uplatňují hliníkové slitiny pro jejich nízkou váhu, na svých koncích mívají kulové čepy nebo pryžová uložení. Víceprvková náprava může být použita jako přední, zadní, hnaná i hnací. Vzhledem k široké škále možných nastavení nápravy Multi-link pomocí délek a ukotvení jednotlivých ramen lze dosáhnout téměř ideálního vedení kola. Proto bývá víceprvková náprava považována za nejlepší možné řešení, avšak v určitých případech můžeme podobných vlastností dosáhnout i s perfektně vyladěným jednodušším systémem, příkladem budiž Škoda Octavia III. generace a srovnání její vlečené nápravy slabších motorizací a víceprvkové silnějších motorizací, vždy totiž záleží na celkovém sladění mnoha faktorů. [53] U většiny víceprvkových náprav dochází při propružení k změně odklonu kol. Může nastat také změna rozchodu a sbíhavosti kol, většinou však bývá výhodně nastavená anebo zanedbatelná. Víceprvková náprava bývá odpružena vinutou pružinou, svůj podíl na odpružení můžou mít také zkrutné elementy.

Výhodami víceprvkové nápravy jsou především velká variabilita nastavení, přesné vedení kola, možnost vytvořit nápravu s dobrými jízdními vlastnostmi při zachování velmi dobrého komfortu jízdy. Víceprvková náprava nachází uplatnění i u terénních vozů, kde díky své variabilitě může být vytvořena náprava, co umožní velkou míru propružení při zachování nezávislosti zavěšení kol. Použití vhodně uložených vlečených ramen dokáže náprava bránit přílišnému předklánění karoserie při brzdění. Další výhodou je fakt, že lze vytvořit prostorově úspornou nápravu. Nevýhodami jsou především výrobní náročnost, vysoká cena a komplikovaný návrh, který se bez použití počítačové techniky a CAD analýzy zhotovuje velmi těžko. S komplikovaností nápravy je spojen také náročnější servis a potenciálně vyšší poruchovost. [54][39]



Obr. 2 – 24 hnaná zadní náprava Multi-link [55] Obr. 2 – 25 hnací zadní náprava Multi-link [56]



Obr. 2 – 26 Schéma propružení víceprvkové nápravy

1 - klid, 2 - jednostranné propružení, 3 - oboustranné propružení





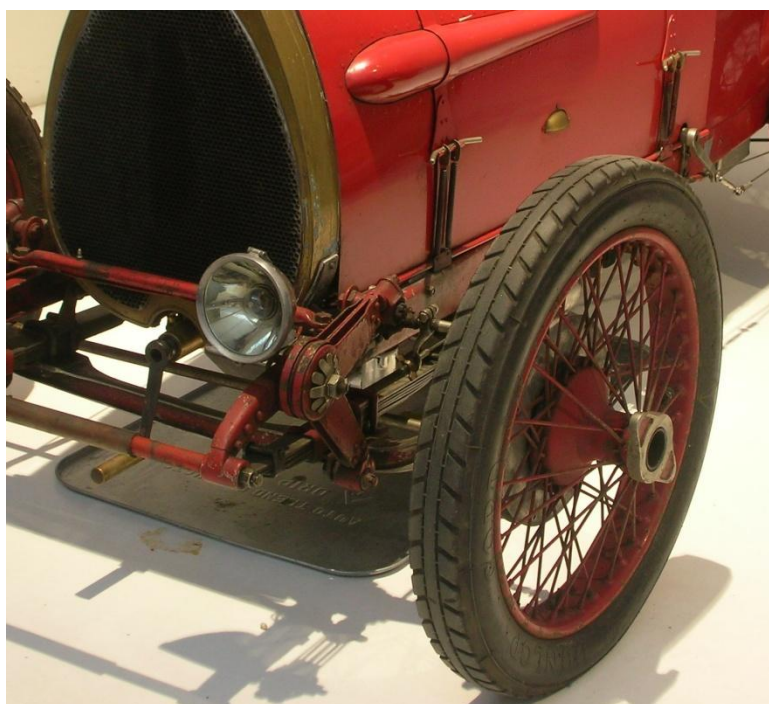
### 3 ODPRUŽENÍ A TLUMENÍ VOZIDLA

#### 3.1 HISTORICKÝ VÝVOJ

Odpružení prvních automobilů se vyvinulo z odpružení koňských povozů a kočárů. Tam se uplatňovalo odpružení celé kabiny pomocí vodorovně napnutých kožených pasů, toto řešení se však v automobilovém průmyslu neuplatnilo. Jiný způsob odpružení kočárů spočíval v použití dřevěných listových per. V případě, že se jednalo o těžký povoz, používaly se listové pera vyrobené z oceli. Listové pera byla obvykle uložena ve více vrstvách a jejich vzájemné tření zabezpečovalo alespoň malé tlumení kol.

Při nízkých rychlostech, které první vozidla dosahovaly, nevadilo, že pohyb kola téměř nebyl tlumen. Avšak s rostoucí rychlostí vozidel byla zjevná potřeba tlumit kmitavý pohyb kola, které jinak mělo tendenci na hrbolech odskakovat a ztrácet kontakt s povrchem. Prvním vozidlem s tlumením byl Mors Machine, kterému se díky této výhodě podařilo vyhrát prestižní závod z Paříže do Berlína v roce 1901. Na přelomu století byla drtivá většina tehdejších automobilů odpružena ocelovými listovými pery, lišil se pouze jejich počet, tvar a otočení. Používaly se eliptické, půleliptické, čtvrteliptické případně i tříčtvrtěliptické pera otočená podélně nebo příčně, zřídka kdy také šikmo. [57]

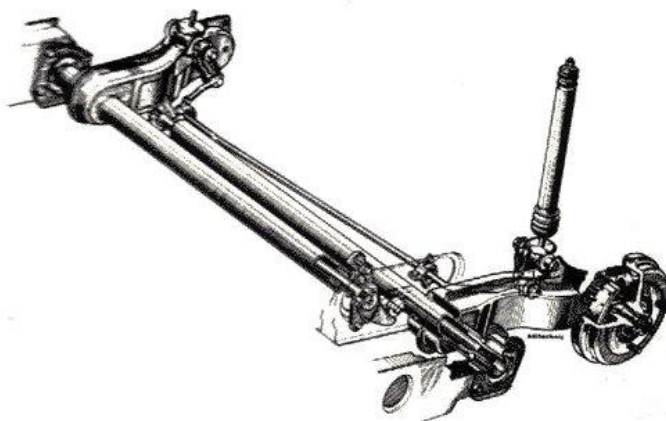
První motorové vozidlo Rakousko Uherska – Marcusův Automobil vyrobený v Adamovských strojárnách – využíval pro své odpružení gumové bloky. [58] Okolo roku 1900 se pro tlumení vozidel začínají používat třecí disky, tedy zařízení složené z několika kruhových disků, kdy každý lichý a každý sudý je kotven k jiné hřídeli (nebo jinému rameni, záleží dle konstrukce), jejich vzájemným pootáčením dochází ke tření mezi disky a tím k absorpci energie a tlumení kmitů. Toto řešení se uplatňovalo na vozidlech až do příchodu 2. světové války.[59]



*Obr. 3 - 1 Tlumení pomocí třecích disků na vozidle Bugatti [60]*



Na vozidlech značky Leyland se v roce 1922 poprvé objevilo odpružení nápravy pomocí zkrutné tyče. Mezi ramenem nápravy a kotvicím bodem v rámu vozidla byla vedena dlouhá ocelová tyč. Ta byla pohybem ramena namáhána na krut a tak docházelo k odpružení vozidla. Toto řešení později použilo mnoho dalších výrobců, objevily se i jiné konstrukce s příčně otočenou zkrutnou tyčí, například na vozidle Renault 4 z roku 1961 byla zadní náprava tvořená vlečenými rameny odpruženými příčnými zkrutnými tyčemi. Ty byly vzájemně posunuté a tak se lišil rozvor na levé a pravé straně vozidla. [61]



*Obr. 3 - 2 Zadní náprava odpružená příčnými zkrutnými tyčemi [61]*

Ve třicátých letech se v USA objevuje tlumení nápravy pomocí hydraulického tlumiče. Jako první toto řešení používají vozidla značky Hudson, tyto tlumiče byly odvozeny od tlumičů použitých v leteckém průmyslu a jejich výrobcem byla značka Monroe [62]. Hydraulický tlumič se postupně stává standardním způsobem tlumení v automobilovém průmyslu. Zpočátku se uplatňovalo řešení pákového hydraulického tlumiče. To znamená systém, kde byla páka kotvena na jedné straně k ramenu nápravy nebo táhlu a na druhé straně k vřetenu vystupujícímu z hydraulického válce. Na vřeteno byly kotveny děrované lopatky, které pohybem v husté kapalině v hydraulickém válci měnily kinetickou energii na teplo. [63]



*Obr. 3 - 3 Pákový hydraulický tlumič [64]*



Společně s příchodem hydraulických tlumičů se objevují první nápravy odpružené pomocí vinutých pružin. Ty jsou na rozdíl listových pružin podstatně menších rozměrů a navíc umožňují tišší jízdu. Po druhé světové válce je pákový hydraulický tlumič považován za zastaralý a bývá nahrazován teleskopickým hydraulickým tlumičem. Ten se postupně stává standardem a dnes je jím vybavená drtivá většina současných vozidel.



*Obr. 3 – 4 Moderní teleskopický tlumič v kombinaci s vinutou pružinou[65]*

Krátce po Druhé světové válce se v USA na experimentálním vozidle Stout Scarab objevilo vzduchové odpružení. Je to historicky první vozidlo s tímto systémem. Odpružení bylo realizováno pomocí gumových válců naplněných vzduchem a zajišťovalo na svou dobu dobrou kvalitu jízdy. Stout Scarab se nikdy nedostal do sériové výroby, avšak kde Stout skončil, tam General Motors v roce 1957 navázalo se svým Cadillac Eldorado Brougham. To mělo vzduchové odpružení namísto konvenčních pružin. Celý vzduchový podvozek byl doplněn o čidla tlaku a systém, který byl schopen dorovnat světlou výšku vozidla při zatížení. Tento systém však byl příliš pomalý, aby byl schopen reagovat na prudké manévry a zároveň trpěl relativně vysokou poruchovostí a tak od tohoto systému General Motors ustoupilo. [66] V USA se tento systém znovuobjevil až v roce 1984 s příchodem Lincolnu Continental Mark VII. V tomto případě se také nejednalo o etalon spolehlivosti, protože vzduchové měchy použité pro odpružení byly vyrobeny z gumy, která měla krátkou životnost a po několika letech ztýřela. [67] V Evropě se využitím vzduchového odpružení zabýval především Mercedes-Benz už od roku 1962. Do vozidel BMW řady 5 z konce 80. let se za příplatek montovaly vzduchové měchy, avšak pouze pro dorovnání světlé výšky po zatížení, za běžných okolností se o odpružení staraly konvenční vinuté pružiny.



*Obr. 3 - 5 Stout Scarab byl nejen prvním automobilem s vzduchovým odpružením ale zároveň také světově prvním automobilem kategorie minivan [68]*





V roce 1954 se světu představilo hydropneumatické pérování od Citroenu, na krátko se dostalo do podvozkových skupin Citroenu Traction Avant a v roce 1955 se objevilo v legendárním Citroenu DS, kde napsalo svou historii. Jediným systémem bylo zajištěno jak odpružení s možností nastavení výšky vozidla, tak také tlumení. Tento systém byl velmi úspěšný, zajišťoval na svou dobu dobré držení stopy a především také prvotřídní komfort. V licenci od Citroenu tento systém později použily i další značky jako například Rolls-Royce, Maserati nebo Peugeot. Citroen tento systém nadále vyvíjel a v roce 1990 se v modelu Xantia objevil aktivní hydropneumatický podvozek zvaný Hydractive. Ten dokázal přizpůsobit svou tuhost stylu jízdy a kvalitě povrchu. [69]



*Obr. 3 – 6 Průřez automobilem Citroen DS zobrazující hydropneumatický systém odpružení [70]*

V roce 1982 představil Nissan svůj model Skyline GT-R R30, který měl elektronicky nastavitelnou tuhost tlumičů. Umožňoval tak zvolit si mezi tuhým sportovním nebo měkkým komfortním odpružením. Podobný systém později převzalo mnoho dalších výrobců a v současnosti je velmi často používán v automobilech vyšších tříd nebo bývá dostupný za příplatek u automobilů středních tříd.

Do budoucna lze očekávat rozvoj posledních zmíněných technologií, obzvlášť vzduchové a hydropneumatické odpružení v kombinaci s elektronickou kontrolou přizpůsobující tuhost aktuálním podmínkám. V budoucnosti se také pravděpodobně dočkáme odpružení na principu lineárních elektromotorů umožňujících samostatný pohyb kol v závislosti na snímaných blížících se nerovnostech. Tento systém už byl představen, ale v současnosti jej nepoužívá žádné sériově vyráběné vozidlo. [71]



*Obr. 3 – 7 Odpružení pomocí lineárních elektromotorů vyvinuté firmou Bose [71]*



## 3.2 PRVKY ODPRUŽENÍ A TLUMENÍ VOZIDLA

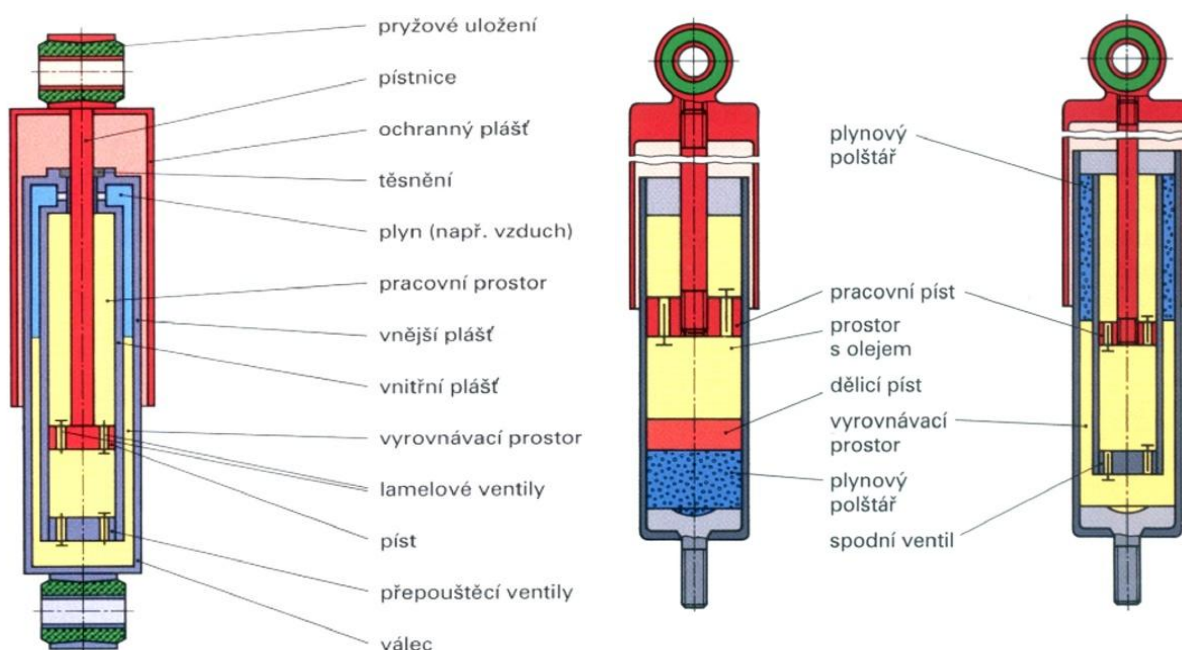
V předchozí podkapitole bylo pojednáno o historickém vývoji odpružení a tlumení osobních automobilů. Pro vyšší přehlednost bude o vybraných systémech pojednáno v následující podkapitole.

### 3.2.1 TELESKOPICKÝ HYDRAULICKÝ TLUMIČ

Kapalinový teleskopický tlumič je dnes suverénně nejpoužívanějším typem tlumení u osobních automobilů. Pracuje na základním principu tlumičů, tedy na přeměně kinetické energie na energii tepelnou. V zásadě rozlišujeme na dva základní typy, jednorubkový a dvourubkový tlumič (popř. jednoplášťový a dvouplášťový).

Jednorubkový tlumič je tvořen válcem naplněným pracovní kapalinou a perforovaným pístem. Při pohybu pístu ve válci prochází pracovní kapalina skrz otvory v pístu. Kapalina tak přechází mezi jednou a druhou komorou. Dvourubkový tlumič má konstrukci totožnou s jednorubkovým tlumičem, avšak na konci druhé komory je soustava ventilů, která přepouští kapalinu do třetí komory tvořené prostorem mezi válci. Perforování pístu se může nahradit soustavou ventilů. Vhodnou volbou pracovní kapaliny a perforování nebo soustavy ventilů můžeme dosáhnout požadované vlastnosti při stlačování a roztahování tlumiče, zpravidla bývá míra tlumení těchto dvou fází rozdílná.

Kapalinový tlumič bývá mnohdy doplněn o prostor s menším objemem velmi stlačeného inertního plynu, obvykle dusíku. Tento prostor je oddělen plovoucím pístem (pohyblivou přepážkou). Při stlačování tlumiče je stlačována také komora s plynem, ta pak působí také jako pružina. Neustálý tlak plynu na pracovní kapalinu tlumiče zajišťuje okamžitou reakci a také tišší provoz. Tento tlak také předchází kavitaci a emulzním jevům, které by jinak mohly způsobit dočasnou ztrátu účinnosti tlumení. Takovýto typ tlumiče se nazývá plynokapalinový a poprvé jej vyvinula firma Bilstein v roce 1954. [72][73]



Obr. 3 – 8 Dvourubkový kapalinový tlumič [72]

Obr. 3 – 9 Jednorubkový a dvourubkový plynokapalinový tlumič [72]

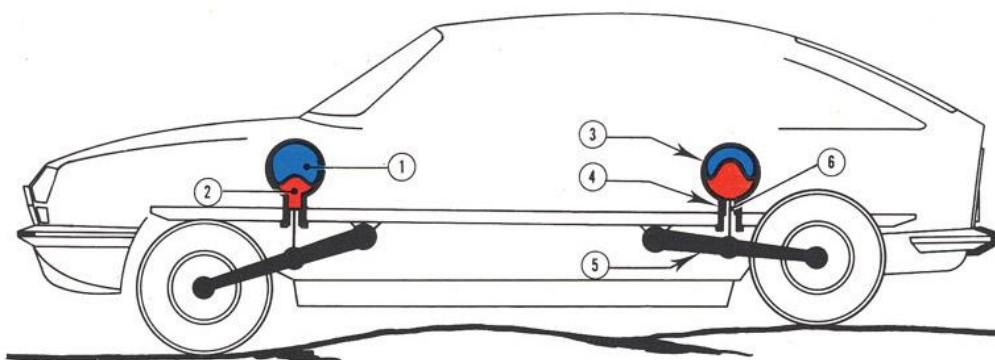


### 3.2.2 HYDROPNEUMATICKÉ ODPRUŽENÍ

Některé vozidla prestižních značek a zvláště pak automobily značky Citroen uplatňují systém hydropneumatického pérování. Ten se skládá z pružících jednotek tvaru koule o průměru běžně okolo 12 cm, jedna pro každé kolo. Ty jsou rozděleny gumovou přepážkou, v horní komoře je stlačený dusík, dolní komora je naplněna pracovní kapalinou a přes tlumící ventil a pracovní válec s pístem je propojena s vyrovnávací nádrží podobnou pružícím jednotkám na kolech. Některé pozdější Citroeny měly vyrovnávací nádrže dvě, jednu na přední a jednu na zadní nápravě. Při propuštění tlačí rameno nápravy na píst a ten dále na kapalinu v kulové pružící jednotce a ještě více stlačuje dusík v horní komoře, tlumení je zajištěno tlumícím ventilem.

Tlak do soustavy je dodáván pomocí čerpadla poháněného motorem automobilu. Tato tlaková pracovní kapalina na některých vozidlech Citroen nahrazovala jinak běžně používaný podtlakový posilovač brzd a hydraulický posilovač řízení, automatizovala také konvenční spojku při pohybu řadící pákou. Zvýšením tlaku v soustavě pérování dojde k posunutí pracovních pístů a tím k zvýšení světlé výšky vozidla. Za pomoci dalších ventilů, pístů a vyrovnávacích nádrží je možné regulovat tlak systému na každém kole zvlášť. To má uplatnění při jízdě v zatáčkách, při brzdění a akceleraci, kde je tento systém schopen vyrovnávat náklony vozidla, případně při defektu pneumatiky, kdy dokáže zajistit stále dobré jízdní vlastnosti.

Výhody tohoto systému jsou značné. V první řadě lze dosáhnout prvotřídního komfortu při velmi dobrých jízdních vlastnostech. Při jakémkoli zatížení si hydropneumatický podvozek udržuje svou tuhost a výšku. Zároveň se dá vhodně měnit výška vozidla v závislosti na dané situaci, například při jízdě po dálnici je vůz nízko pro menší aerodynamický odpor a nižší těžiště, při jízdě po nerovném povrchu je vůz vysoko a dlouhý chod kol při propuštění nabízí lepší komfort. Celý systém lze vyrobit stále relativně kompaktní a jelikož není potřeba konvenčních pružin, tlumičů a zkrutných stabilizátorů tak také cena hydropneumatického podvozku nemusí být extrémně vysoká. Nevýhody jsou především náročnější a komplikovanější udržba a potenciálně vyšší poruchovost. Při selhání pružící jednotky výrazně poklesne světlá výška vozidla a to se může stát nepojízdným. Tomu bývá obvykle předcházeno pomocí gumových dorazů.[74][75]



Obr. 3 – 10 Hydropneumatické pérování [74]

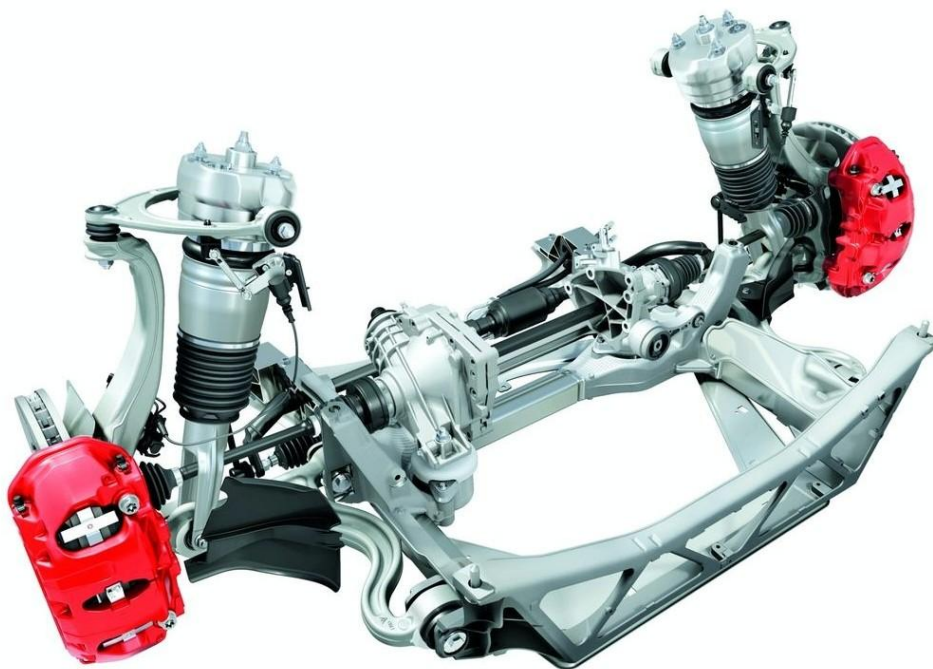
1- stlačený plyn, 2 - pracovní kapalina, 3 - pružící jednotka,  
4 - pracovní válec, 5 – rameno nápravy, 6 - pracovní píst



### 3.2.3 PNEUMATICKÉ ODPRUŽENÍ

Pneumatické (často se používá také výraz vzduchové) odpružení je systém, kde je konvenční vinutá nebo jiná pružina nahrazena pneumatickou pružicí jednotkou. Tedy gumovým měchem naplněným stlačeným vzduchem. Ten má obvykle tvar válce, kuželu nebo přesýpacích hodin. V moderních automobilech je tato pružicí jednotka pomocí tlakových hadic s ventily spojena s kompresorem. Změnou tlaku je možné měnit výšku vozidla a tuhost odpružení, systém je někdy využíván pouze pro dorovnání výšky vozidla po zatížení. Kompresor může být poháněn motorem přes řemenový převod nebo může mít vlastní elektrický pohon. Celý systém bývá vybaven o zařízení schopné vysušit vzdušnou vlhkost, která by jinak mohla snižovat životnost jednotlivých komponent. Jednodušší řešení pneumatického odpružení se z hlediska stálého tlaku spoléhají pouze na kompresor, složitější mají vyrovnávací tlakovou nádobu. Celý systém může být ovládán samostatnou elektronickou řídicí jednotkou nebo jej může ovládat řidič z kabiny automobilu. Některé sofistikovanější systémy jsou schopny se pomocí senzorů výšky kol, tlaku v systému a dalších senzorů samy přizpůsobovat aktuálním podmínkám.

Mezi výhody tohoto systému patří teoreticky neomezené množství nastavení a tedy mnohem lepší schopnost se přizpůsobit aktuálním podmínkám. Často bývá využit v aplikacích, kde se nejvíc uplatní možnost změny výšky vozidla. Tedy v osobních automobilech typu kombi, u automobilů s terénními ambicemi nebo u nákladní dopravy. Časté je také využití ve vozidlech MHD, kdy je autobus schopen při zastavení v zastávce poklesnout a umožnit tak snadnější nástup a výstup. Přínos ke komfortnosti jízdy je oproti konvenčnímu řešení citelný, avšak zpravidla nedosahuje úrovně hydropneumatického odpružení. Nevýhodami jsou náročnější konstrukce a s tím spojená vyšší cena oproti běžným ocelovým pružinám, kratší životnost, vyšší poruchovost a nákladnější oprava. [76]



*Obr. 3 – 11 Přední lichoběžníková náprava vozidla Porsche Panamera vybavená moderním systémem vzduchového odpružení [77]*





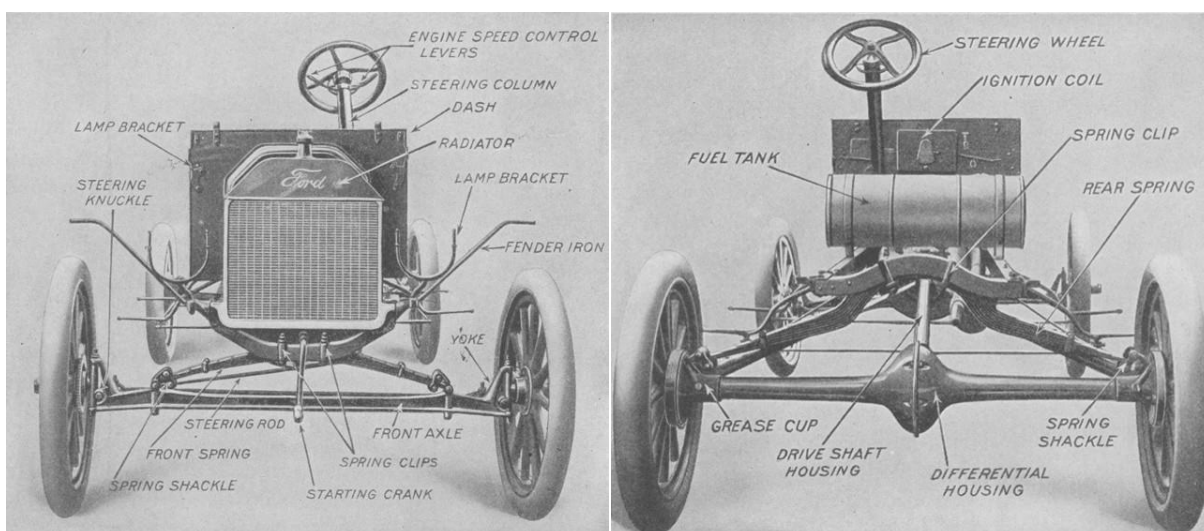
## 4 ŘEŠENÍ PODVOZKOVÝCH SKUPIN VYBRANÝCH AUTOMOBILŮ

### 4.1 FORD MODEL T – 1908

Ford Model T se vyráběl od roku 1908 do roku 1927 a bývá považován za první sériově vyráběné vozidlo, ačkoli to není zcela pravdivé. Toto prvenství mu sebral Oldsmobile Curved Dash, to však nic nemění na významnosti Modelu T pro celý automobilový průmysl. Za jeho 19 let dlouhou výrobu vzniklo přes 15 miliónů kusů [78], ve své době neslo logo Fordu každé druhé auto na světě, Model T se stal synonymem pro automobil.

Ford Model T představoval etalon automobilů ve své době, stejně tak jeho podvozek. Ten byl na svou dobu zcela standardního řešení. Přední i zadní náprava byla tuhá, zadní byla hnací. Odpružení bylo řešeno pomocí listových per. Na přední nápravě se jednalo o příčné vícevrstvé půleliptické listové pero uchycené otočně k nosníku nápravy a pevně k rámu vozidla, otočné uchycení bylo vybaveno maznicí pro snížení hluku. Zpočátku výroby byla náprava vedena pouze pomocí listových per, na později vyráběných kusech se objevilo vedení přední nápravy jak pomocí listových per, tak také pomocí podélného trojúhelníkového ramene. Na zadní nápravě bylo použito příčných půleliptických listových per, vedena byla pomocí listových per a obdobného podélného trojúhelníkového ramene kotveného uprostřed vozidla do pomocného rámu. Tlumení zabezpečovalo pouze vzájemné tření mezi jednotlivými listovými pery. To však pro tehdejší situaci postačovalo, neboť maximální rychlost Modelu T byla pouze asi 65 km/h a to pouze na rovné silnici. Po tehdejších běžných silnicích se muselo jezdit pomaleji. Na Fordu Model T bylo poprvé v automobilovém průmyslu ve větší míře uplatněno vanadové oceli. Z této relativně lehké a pevné oceli byl kován nosník přední nápravy a přední těhlice. Rám vozidla byl svařovaný z čtvercových profilů.

Na svou dobu nabídl Ford Model T přiměřené pohodlí, dnes by však byl vnímán jako velmi nekomfortní. Tehdejší situace však vyžadovala, aby vozidlo bylo schopno jet po zcela nezpevněných cestách nebo i po poli a tak muselo mít tuhé odpružení. [79][80]



Obr. 4 - 1 Dobový náčrt rámu a podvozku Fordu Model T [81]



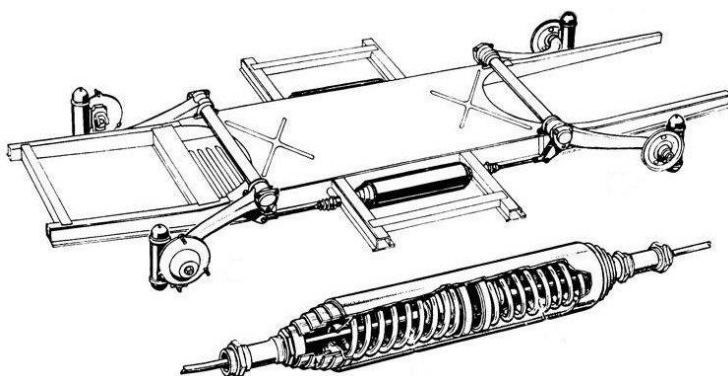


## 4.2 CITROEN 2CV – 1948

Citroen 2CV byl určitým způsobem odpovědí na podobně masový lidový vůz Volkswagen Beetle. Ve Francii si však na rozdíl od Volkswagenu nekladli za cíl postavit automobil pro dálniční provoz. Cílem Citroenu bylo postavit lehké, jednoduché a levné vozidlo schopné uvést čtyři osoby z pole do města, případně mezi dvěma městy. Zároveň bylo pamatováno na stav Francouzských poválečných silnic. V roce 1948 byl světu představen Citroen 2CV a za dlouhých 42 let jeho produkce vznikly téměř 4 milióny kusů.

Podvozek Citroenu 2CV byl příkladně jednoduchý a přitom zcela dostatečný pro své využití. Na přední hnací nápravě bylo použito jednoduchých tlačných ramen, na zadní nápravě bylo použito obdobných ramen avšak ve vlečeném uspořádání. Odpružení každého kola bylo zajištěno pomocí horizontální vinuté pružiny. Každá z pružin byla kotvena na jednom konci k táhlu vedoucímu od ramene nápravy a na druhém konci k horizontálnímu válci. Ten byl vždy jeden pro levou a pravou stranu vozidla. Pohyb předního a zadního kola tak byl vzájemně spjat. Rameno nápravy fungovalo jako vahadlo a téměř vertikální pohyb kola přenášelo do horizontálně otočeného válce pomocí krátké páky. Ve výsledku tak vznikl systém, kdy při horním propružení předního kola (najetí na nerovnost) zároveň pomocí vzájemného spojení pružin dochází k dolnímu propružení zadního kola. Tak zůstávala výška přední a zadní strany vozidla vždy podobná a auto se pohybovalo jako celek nahoru a dolů. Zároveň při zatížení vozidla došlo k zvětšení rozchodu kol. V prvních letech výroby se pro tlumení kmitavého pohybu kol používaly třecí disky, ty byly později nahrazeny klasickými teleskopickými hydraulickými tlumiči.

V dnešní době by podvozek Citroenu 2CV působil až komicky měkce. Ve své době však zcela splňoval požadavky pro jízdu po nepevném povrchu. Zároveň díky nízkému těžišti a změně rozchodu kol při náklonu karoserie umožňoval relativně dobré držení stopy. O určitém potenciálu podvozkových skupin Citroenu 2CV svědčí i množství poloamatérských závodních sérií ježděných po celém světě. Nevýhodou tohoto systému byla nutnost použít na hnací nápravě hřídele s klouby s proměnnou délkou. To mírně zvyšovalo výslednou cenu vozidla. [82]



Obr. 4 - 2 Náčrtes základního rámu karoserie, předních a zadních ramen a středového válce s vinutými pružinami [83]



Obr. 4 - 3 Citroen 2CV při rychlém průjezdu zatáčkou [84]

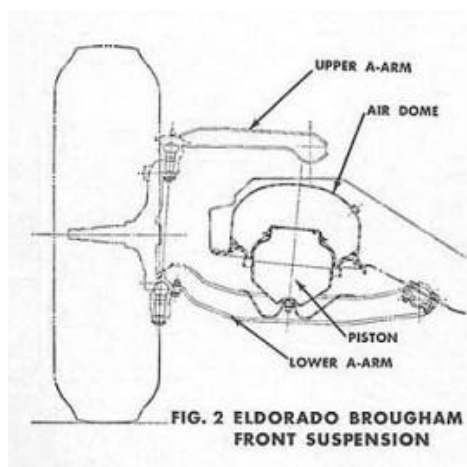


### 4.3 CADILLAC ELDORADO BROUGHAM – 1957

Cadillac Eldorado byl tzv. personal luxury car, tedy dvoudveřové avšak poměrně rozměrné a luxusně vybavené vozidlo. Vážilo až 2500 kg a na délku měřilo 5,64 metru. Představovalo symbol luxusu a úspěchu, podobnými vozidly jezdilo mnoho amerických herců a zpěváků, stejně jako jiných zámožných osobností. V této třetí generaci se vyrábělo pouhé dva roky, avšak z technického pohledu se předchozí ani následující generace příliš neliší.

Cadillac Eldorado z roku 1957 svou koncepcí představuje klasický americký vůz poválečné doby. Karoserie je postavena na obvodovém rámu svařovaném z ocelových profilů. Přední náprava byla lichoběžníková, obě ramena byla kotvena do rámu vozidla. Spodní rameno bylo trojúhelníkového tvaru. Bylo svařováno z plechu a přibližně v jeho středu byl prolis pro uložení pružiny a jejím středem vedeného teleskopického hydraulického tlumiče. Tento prolis musel být zároveň schopen kotvit vzduchové odpružení, které bylo dostupné za příplatek. Horní rameno bylo také trojúhelníkového tvaru avšak kratší a jednodušší konstrukce. Horní i dolní rameno bylo upevněno k těhlici pomocí kulového čepu. Pro snížení náklonu karoserie v zatáčkách bylo využito zkrutného stabilizátoru kotveného k spodnímu rameni. Hnací zadní náprava byla tuhá, vedená celkem čtyřmi rameny – dvěma dlouhými podélnými rameny kotvenými do nosníku nápravy zespodu a dvěma kratšími šikmými rameny kotvenými do nosníku nápravy shora. Všechna čtyři ramena byla druhým koncem kotvena do rámu vozidla. Odpružení bylo realizováno opět buď pomocí vinuté pružiny, nebo pomocí příplatkového vzduchového měchu. Pro tlumení sloužil teleskopický hydraulický tlumič.

Ať už zákazník zvolil vzduchové nebo konvenční odpružení, dostalo se mu velmi pohodlného svezení, jízda byla plavná a houpavá. Držení stopy nebylo příliš oslnivé, ale bylo předvídatelné a poměrně bezpečné. Vzhledem k výkonné osmiválcové pohonné jednotce se dala vyprovokovat přetáčivost při akceleraci. Vzduchové odpružení mělo na zadní nápravě možnost regulace světlé výšky dofouknutím vzduchového měchu, tím byla udržována stálá výška vozidla. Vzduchové odpružení se však neosvědčilo kvůli značné nespolehlivosti a vysoké ceně a tak od něj bylo po čtyřech letech produkce upuštěno. Obecně se dá říci, že podobnou koncepcí s lichoběžníkovou přední a tuhou zadní nápravou využívala velká většina amerických aut až do osmdesátých let. [85][86]



Obr. 4 - 4 Náčr. přední nápravy s vzduchovým odpružením [86]



Obr. 4 – 5 Cadillac Eldorado Brougham 1957 [87]

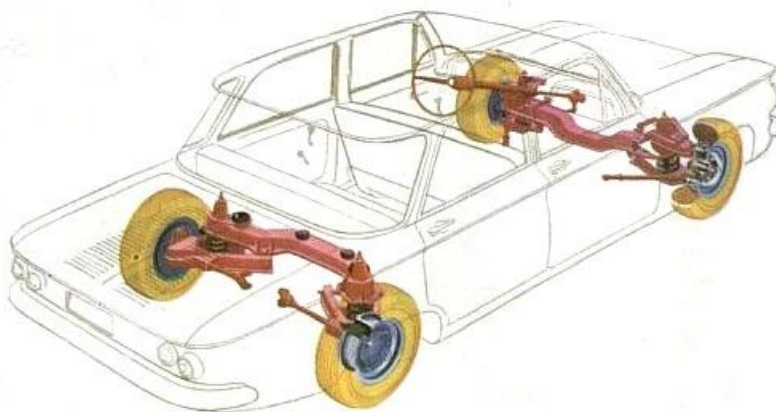
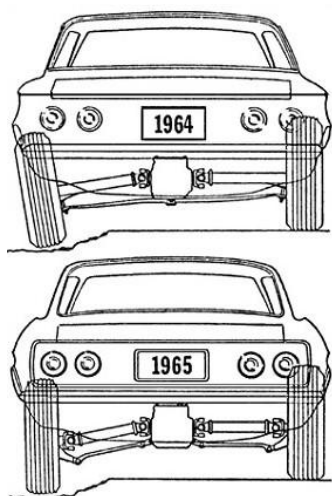


#### 4.4 CHEVROLET CORVAIR – 1959

V padesátých letech se v USA vyráběly především velké „full-size“ sedany s klasickou koncepcí popsanou v minulé podkapitole. Avšak dobré prodeje malých evropských automobilů ukazovaly domácím automobilkám, že i v teritoriu kompaktních vozidel by se mohlo podařit vydělat. Většina amerických automobilek tak představila zmenšeniny „full-size“ sedanů, pouze Chevrolet přišel se zcela novou koncepcí.

V roce 1959 byl světu představen Corvair, auto, které mělo samonosnou karoserii na rozdíl od jinak běžné rámové konstrukce, nezávislé zavěšení všech čtyř kol a pro Ameriku atypický plochý vzduchem chlazený šestiválcový motor uložený za zadní nápravou, která byla zároveň nápravou hnací. Přední náprava byla lichoběžníková, kdy spodní rameno bylo tvořeno ze dvou samostatných prvků dohromady tvořících trojúhelníkový tvar. Hlavním prvkem bylo masivní příčné rameno, ke kterému byla kotvena vinutá pružina a jejím středem vedený teleskopický tlumič, doplňujícím prvkem byla šikmá tyč sloužící pro zachycení podélných sil. Horní rameno bylo kratší a trojúhelníkového tvaru. Obě ramena byla kotvena do nosníku přední nápravy přes gumová ložiska a do těhlice pomocí kulových čepů. Zadní náprava byla kyvadlová tvořená hnacím hřídelem s kardanovým kloubem na straně u diferenciálu a příčným ramenem. Byla odpružená pomocí vinutých pružin a teleskopických tlumičů.

Při propnutí zadní nápravy docházelo k velké změně odklonu kol, což mohlo mít za následek prudkou přetáčivost. Chevrolet se tomu snažil předcházet předepsáním různých tlaků vzduchu v předních a zadních pneumatikách. Toto řešení však nebylo dostatečné, protože tlak mohl být uživatelem snadno změněn. V roce 1963 byla přední náprava doplněna o zkrutný stabilizátor, který měl za úkol snížit náklon vozidla v zatáčkách a zlepšit tak jeho jízdní vlastnosti. Dodatečně bylo možné namontovat na zadní nápravu příčné listové pero pro snížení vznikajícího odklonu kol. Ani to však nepomáhalo vyřešit diskutabilní jízdní vlastnosti. V roce 1965 tak byla představena druhá generace Chevroletu Corvair, která měla zcela novou zadní nápravu inspirovanou nezávislým zavěšením použitým na sportovních vozidlech Chevrolet Corvette. Ta byla tvořená jedním vlečeným a jedním příčným ramenem na každé straně. Hnací hřídele byly vybaveny klouby na obou stranách. Při propnutí této nápravy nedocházelo k téměř žádné nežádoucí změně odklonu kol a jízdní vlastnosti byly na mnohem vyšší úrovni. Ani to však nepomohlo zabránit klesajícím prodejům, které byly způsobené špatnou pověstí získanou při prvních letech výroby. [88][89][90]



Obr. 4 – 6 Rozdíl v propnutí zadní  
nápravy 1. a 2. generace Corvairu [90]

Obr. 4 – 7 Zobrazení přední a zadní nápravy Chevroletu  
Corvair 1. generace z roku 1960 [88]



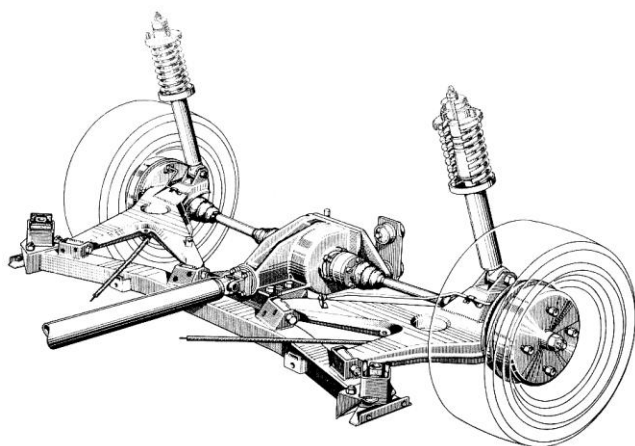


## 4.5 BMW NEW CLASS – 1962

New Class (Nová Třída) je souhrnný název pro sérii několika automobilů značky BMW založených na společné platformě vyráběných v šedesátých a sedmdesátých letech. New Class si kladlo za úkol kombinovat luxus a sportovní jízdní vlastnosti. Zároveň bylo pro BMW zcela novou sérií modelů, která nevycházela z žádného předchozího a dostala také zcela nově vyvinutý motor.

Všechny modely na platformě New Class mají stejnou koncepci, tedy samonosnou karoserii s podélně uloženým motorem vpředu a pohonem zadních kol. Všechna čtyři kola jsou nezávisle zavěšena. Přední náprava byla typu MacPherson, skládala se ze spodního příčného ramene a šikmé tyče pro zachycení podélných sil. Příčné rameno bylo kotveno do nosníku přední nápravy, šikmá tyč do nosné části přední stavby samonosné karoserie. Oba tyto prvky byly na svém druhém konci kotveny do těhlice, která byla součástí svislé vzpěry. Uvnitř svislé vzpěry byl teleskopický tlumič a kolem něj souose uložená vinutá pružina. Svislá vzpěra byla do karoserie přišroubována přes axiální ložisko uložené v gumovém obalu. Na většině modelů byl použit zkrutný stabilizátor. Zadní náprava byla úhlová kyvadlová. Skládala se z příčného nosníku svařovaného z plechových profilů, který byl ukotven do karoserie pomocí dvou svislých šroubů vedených skrz gumová ložiska a pomocí plechových držáků přišroubovaných do prahů. K tomuto příčnému nosníku byla přišroubována rozvodka zadní nápravy a zároveň do něj byly přes gumová pouzdra kotveny dvě dvojité rozvidlené šikmé vlečené ramena. Náprava byla odpružena pomocí vinutých pružin a tlumení zajišťovaly teleskopické tlumiče. Zadní stabilizátor byl standardem u sportovních modelů a u ostatních byl dostupný za příplatek. Hnací hřídele byly vybaveny klouby s proměnnou délkou. [91]

Tato koncepce zůstala u BMW zachována až do příchodu novodobé Řady 3 E36 z roku 1991 ačkoli jiná koncepce byla už na sportovním BMW M1 a Řadě 8 v roce 1989. Využití přední nápravy MacPherson a zadní úhlové kyvadlové se vyznačuje svou prostorovou nenáročností v kombinaci s výbornými jízdními vlastnostmi při zachování dobrého jízdního komfortu. Výborného držení stopy bylo dosaženo mimo jiné také zvolením úhlu kývání zadní nápravy tak, aby změna odklonu při naklonění karoserie v zatáčce byla ideální a tedy aby bylo kolo co možná nejvíc kolmé k silnici. Svou roli sehrálo také výborné vyvážení těchto vozidel. Jízda byla komfortní s poměrně značným nakláněním karoserie při rychlé jízdě v zatáčkách, na limitu přilnavosti docházelo k neutrálnímu chování až nedotáčivosti. U silnějších motorizací vybavených samosvorným diferenciálem mohlo dojít k přetáčivosti při prudké akceleraci. Nevýhodou tohoto řešení byl nežádoucí negativní odklon zadních kol při zatížení vozidla. [92]



Obr. 4 – 8 Nákres kyvadlové úhlové zadní nápravy vozidel BMW New Class [93]



Obr. 4 – 9 Obrázek zachycující dolní propuštění BMW 2002 turbo [94]

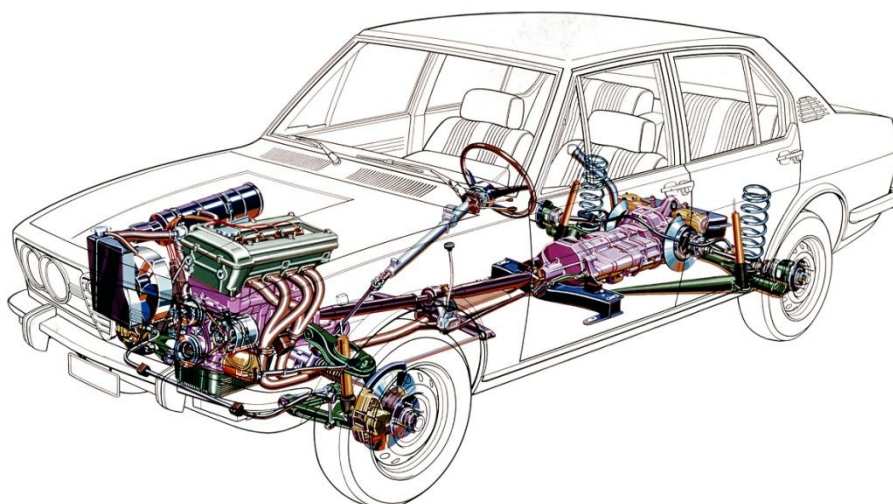


## 4.6 ALFA ROMEO ALFETTA – 1972

Model Alfetta byl klasickým tříprostorovým sedanem, existovala také verze kupé označovaná jako GTV. Pro automobilku Alfa Romeo byla Alfetta začátkem nové generace modelů neboť byla nástupcem letité Giulie. Zároveň byla koncepce použita na Alfettě dále rozvíjena na následujících modelech Giulietta, 90, 75 a SZ až do převzetí Alfey Romeo koncernem Fiat.

Alfetta byla pojmenována po závodním vozidle Alfey Romeo z padesátých let. To protože oba automobily sdílí stejné uspořádání podvozku – tzv. systém Transaxle, tedy řešení, kde je převodovka s diferenciálem v jednom bloku u zadní nápravy. Díky tomu je zajištěno perfektní vyvážení v poměru 50/50. Jinak byla Alfetta klasické koncepce s motorem vpředu a pohonem zadních kol. Přední náprava byla lichoběžníkové konstrukce. Spodní rameno mělo trojúhelníkový tvar a do samonosné karoserie bylo uloženo přes gumová ložiska. Horní rameno se skládalo z plechového svarku tvaru O a šikmé tyče pro zachycení podélných sil. Skrz plechový svarek procházel teleskopický tlumič kotvený ke spodnímu ramenu. Odpružení zajišťovala zkrutná tyč kotvená do spodního ramene a do pomocného nosníku v karoserii. Zkrutná tyč byla použita namísto jinak běžnější vinuté pružiny za účelem úspory prostoru a snížení neodpružených hmot. Zadní náprava typu DeDion byla zcela unikátní konstrukce. Byla tvořena masivním trojúhelníkovým nosníkem, který byl svým horním vrcholem kotven přes gumové pouzdro do karoserie a v každém ze zbývajících dvou vrcholů bylo uloženo kolo. Náprava je příčně ustavena pomocí Wattového přímovodu. Dalšího snížení neodpružených hmot bylo dosaženo přesunutím kotoučových brzd těsně k diferenciálu. Zadní náprava byla odpružena pomocí vinutých pružin a teleskopických tlumičů. Přední i zadní náprava byla vybavena zkrutným stabilizátorem. [24][95]

Alfa Romeo Alfetta měla výborné jízdní vlastnosti stejně jako další Alfey Romeo na této koncepci později založené. To bylo dáno vždy kolmým postavením zadních kol k vozovce a relativně malé neodpružené hmotnosti. Přední lichoběžníková náprava byla vhodnou volbou délky ramen nastavena na ideální změnu odklonu při propružení. Jízdní komfort byl na dobré úrovni, karoserie se při rychlé jízdě v zatáčkách citelně nakláněla. Svou roli na dobrých jízdních vlastnostech sehrálo také výborné vyvážení. Z hlediska míry držení stopy byly tyto vozidla na špičce třídy, tedy na podobné úrovni jako soudobé BMW, výrazněji ztrácely pouze na velmi nerovném povrchu, kde se více projevíly nevýhody závislého zadního zavěšení. Dalšími nevýhodami této koncepce je především složitost, cena a náročná údržba. Další nevýhodou je mírně omezená hloubka zavazadlového prostoru. [96]



Obr. 4 – 10 Nákras pohonného ústrojí a podvozku Alfey Romeo Alfetta [97]

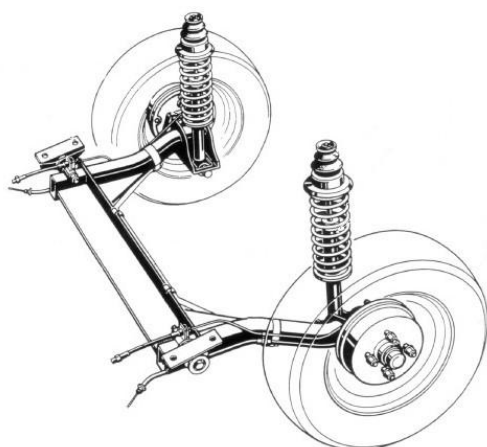


## 4.7 VOLKSWAGEN GOLF – 1974

Před Volkswagenem Golf stál velmi nelehký úkol a to nahradit legendárního avšak stárnoucího Volkswagen Beetle. Deset let před představením první generace VW Golf se do koncernu Volkswagen začlenilo Audi, které mělo značné znalosti s vývojem předohnaných automobilů s vodou chlazeným motorem. To hrálo klíčovou roli v nově vzniklé koncepci použité na VW Golf.

Volkswagen Golf měl samonosnou karoserii typu hatchback, vážil okolo 850 kg a příčně uložený motor před přední nápravou a poháněl přední kola. Přední náprava byla konstrukce MacPherson. Skládala se ze spodního trojúhelníkového ramene, které bylo kotveno do karoserie přes gumová ložiska a s těhlicí bylo spojeno kulovým čepem. Skrz těhlici vedla hnací hřídel, které přenášela točivý moment přes drážkování na náboj kola. Těhlice byla dvěma šrouby přišroubována k svislé vzpěře. Ta byla do karoserie kotvena přes axiální ložisko v gumovém obalu. Uvnitř svislé vzpěry byl hydraulický teleskopický tlumič a okolo vzpěry byla vinutá pružina. Uvnitř vinuté pružiny byly gumové dorazy pro omezení maximálního horního propružení. Zadní náprava byla kliková se zkrutnou příčkou. Skládala se z dvou vlečených ramen. Na konci každého z ramen byla přivařena konstrukce, do které byla kotvena svislá vzpěra s teleskopickým tlumičem, ta byla druhým koncem uložena do karoserie přes gumové ložisko. Okolo svislé vzpěry byla vinutá pružina. Obě vlečená ramena byla spojena příčným zkrutným nosníkem tvaru písmene T. Sportovně orientovaná verze GTi měla na přední i zadní nápravě zkrutný stabilizátor pro snížení náklonu karoserie. [98]

Ve výsledku byl VW Golf první generace velmi úspěšným vozem. Za tímto úspěchem stály také relativně dobré jízdní vlastnosti. Odpružení bylo spíše tuhé, ale nikoli nepohodlné. Náklon karoserie v zatáčkách byl na svou dobu poměrně malý, svou práci zde odvedla zkrutná příčka na zadní nápravě. Ta měla za následek také zvedání odlehčeného vnitřního zadního kola při velmi rychlé jízdě v zatáčce. Automobil se v limitních situacích choval předvídatelně nedotáčivě, mírou plynu se dala nedotáčivost regulovat, při prudkém ubrání plynu v zatáčce šlo dokonce vyprovokovat vybočení zadní nápravy. Další výhodou použitého systému odpružení byl dostatek prostoru v kabině a v kufru. Nevýhodou pak technologicky složitý vývoj zadní zkrutné nápravy. [99]



Obr. 4 – 11 Náčrt zadní klikové nápravy se zkrutnou příčkou vozu VW Golf [98]

Obr. 4 – 12 VW Golf při rychlém průjezdu zatáčkou [100]





## 4.8 MERCEDES-BENZ 190 – 1982

Mercedes-Benz 190 interně označovaný W201 byl prvním kompaktním sedanem od Mercedesu. Reklamní hesla prohlašovala, že ačkoli je kompaktní, má techniku nejluxusnějších vozidel své mateřské značky. A určitým způsobem byly tyto hesla pravdivé. Mercedes 190 mohl být vybaven moderními technologiemi jako ABS, airbagy, předepínači bezpečnostních pásů a mnohými dalšími. Za svůj úspěch vděčí také velmi sofistikovanému podvozku.

Jako klasický Mercedes-Benz této doby měla i 190 samonosnou karoserii, vpředu podélně uložený motor a pohon zadních kol. Všechna čtyři kola byla nezávisle zavěšena. Vpředu se nacházela modifikovaná MacPherson náprava. Ta se skládala ze spodního trojúhelníkového ramena kotveného ve dvou bodech do karoserie přes gumová ložiska a do těhlice přes kulový čep. K těhlici byla přišroubována svislá vzpěra obsahující teleskopický tlumič. Na rozdíl od běžné konstrukce nápravy MacPherson byla vinutá pružina zcela mimo svislou vzpěru. Byla kotvena přímo k spodnímu rameni nápravy a na opačném konci byla uložena do pomocného lůžka, které bylo součástí karoserie. Zadní náprava byla na svou dobu velmi vyspělá, jednalo se o jednu z prvních víceprvkových náprav v sériově vyráběném vozidle. Mezi kotvicími body v pomocném rámu karoserie a těhlicí kola bylo celkem pět ramen. K masivnímu příčnému ramenu byla kotvena vinutá pružina a teleskopický tlumič a zbývající čtyři ramena byly jednoduchého tyčovitého tvaru a plnily funkci vedení kola. Přední i zadní náprava byla vybavena příčným zkrutným stabilizátorem. [101][102]

Výhodou tohoto komplikovaného řešení zadní nápravy byl její velký potenciál. Jízdní vlastnosti Mercedesu 190 byly nastaveny spíše na komfort než na získání maximální přilnavosti. I tak bylo držení stopy v zatáčce výborné, jako první se dostavila čitelná nedotáčivost, dalo se však vyprovokovat i přetáčivost, ať už rozhozením nebo při prudké akceleraci u silnějších motorizací. Svou roli na dobrém držení stopy sehrálo také dobré vyvážení v poměru přibližně 53/47 v prospěch přední nápravy. Výborné bylo především tlumení nerovností a odhlučnění kabiny. U sportovně orientované verze 2.3 16v došlo k přeladění tlumičů a pružin a držení jízdní stopy se tak dostalo na špičku třídy. [103]



Obr. 4 – 13 Zadní pětiprvková náprava vozu Mercedes-Benz 190 [104]

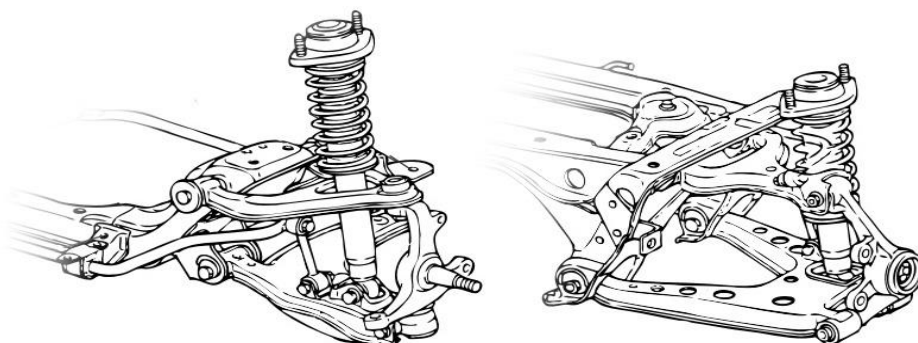


## 4.9 MAZDA MX-5 – 1990

Mazda MX-5 je typickým představitelem moderního sportovního roadsteru. Ačkoli pochází ještě z doby, kdy se hliníkové slitiny při výrobě karoserie příliš nepoužívaly a celá její samonosná karoserie je vyrobena z oceli, dosahuje poměrně nízké váhy okolo 950 kg. Celá myšlenka Mazdy MX-5 spočívá v jednoduchosti a snadné ovladatelnosti, neobsahovala příliš luxusního vybavení a měla nízkou cenu. Co však Mazdu MX-5 proslavilo nejvíc, byly její jízdní vlastnosti, řidičská surovost, ovladatelnost a z toho pramenící zábava.

Mazda MX-5 má vpředu podélně uložený čtyřválcový motor, který pohání zadní kola. Za příplatek byl dostupný také samosvorný diferenciál. Přední i zadní náprava je lichoběžníkové konstrukce. Vpředu se nachází pomocný nosník, do kterého jsou kotvena ramena nápravy, motor a také převodka řízení. Vzadu se nachází obdobný nosník, do kterého jsou kotvena ramena nápravy a diferenciál. Oba tyto nosníky jsou přes šroubová spojení kotvena do karoserie a pomáhají zvyšovat tuhost karoserie. Přední náprava se skládá ze spodního a horního ramene, spodní má tvar písmene L, horní tvar písmene A. Obě jsou přes kulový čep kotveny k těhlici, skrz horní rameno prochází svislá vzpěra, která je kotvena k spodnímu rameni a obsahuje teleskopický tlumič. Okolo svislé vzpěry se nachází vinutá pružina zajišťující odpružení. Zadní náprava je podobné konstrukce, ačkoli se všechny její díly značně liší. Spodní robustnější rameno má tvar písmene H, horní tvar písmene Y, obě jsou k těhlici kotveny přes gumová ložiska. Skrz těhlici prochází hnací hřídel. Zadní náprava je odpružena svislou vzpěrou kotvenou k spodnímu rameni, uvnitř svislé vzpěry je teleskopický tlumič a okolo se nachází vinutá pružina. Přední i zadní náprava je vybavena zkrutným stabilizátorem.

Kombinace nízké váhy, výborného vyvážení a sofistikovaného podvozku znamenala výborné jízdní vlastnosti. Na limitu přilnavosti pneumatik se dostavila především neutralita, případná přetáčivost byla díky komunikativnímu řízení snadno dopředu odhadnutelná a následně lehce zvládnutelná. U silnějších motorizací se díky přítomnosti samosvorného diferenciálu dala také vyprovokovat prudkou akcelerací. Právě díky jízdním vlastnostem se stala Mazda MX-5 nejprodávanějším sportovním autem na světě. [105][106]



Obr. 4 – 14 Přední a zadní lichoběžníková náprava Mazdy MX-5 [105]



Obr. 4 – 15 Mazda MX-5 v přetáčivém smyku [107]



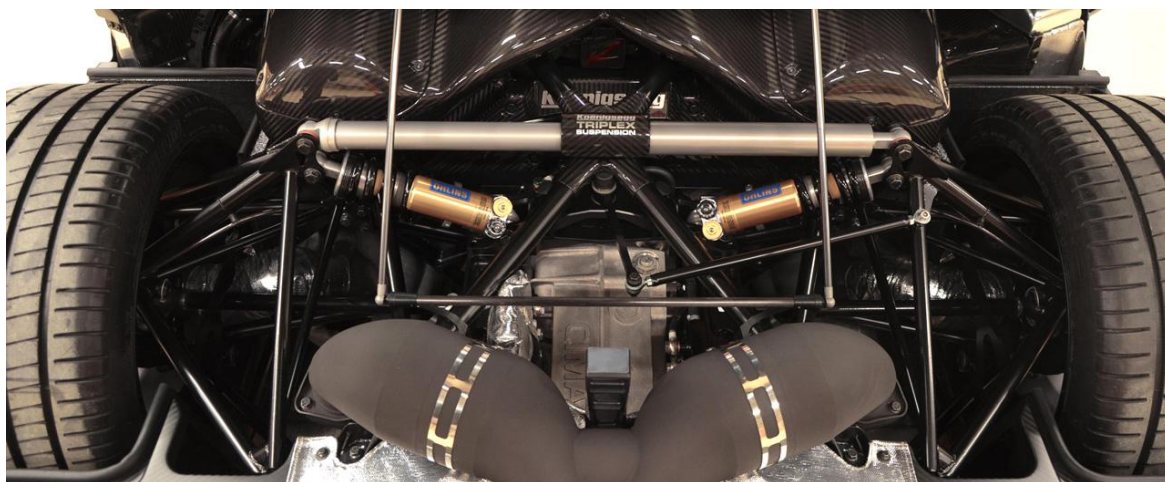


#### 4.10 KOENIGSEGG AGERA R – 2011

Koenigsegg Agera R je jedno z nejdražších současně vyráběných aut na světě, jeho cena je přibližně 31 milionů korun. Zákazník za tuto cenu dostane supersportovní automobil s dvakrát přeplňovaným osmiválcovým motorem s výkonem 838 kW uloženým před zadní nápravou, maximální rychlost tak dosahuje přibližně 443 km/h.

Díly karoserie Koenigsegg Agera R jsou vyrobeny z uhlíkových vláken doplněných kevlar, šasi je také vyrobeno z uhlíkových vláken a je doplněné o prostorový rám z hliníkových slitin. Motor s převodovkou jsou součástí nosné konstrukce. Díky tomu se podařilo dosáhnout hmotnosti přibližně 1400 kg a vyvážení v poměru 44/56. Podvozek je závodního charakteru. Přední i zadní náprava je lichoběžníková. Od konvenčních systémů se však značně liší, protože jsou všechna ramena svařované trubkové konstrukce. Koenigsegg tvrdí, že ramena jsou velmi dlouhá v porovnání s ostatními vozy stejné kategorie. To má za následek ještě menší změnu rozchodu kol při propružení. Přední i zadní náprava je odpružena pomocí vinuté pružiny a plynokapalinového teleskopického tlumiče, který prochází středem pružiny. Celá jednotka odpružení je orientována téměř vodorovně směrem do středu vozidla a je ovládána přes vahadlo, které je kotveno k hornímu rameni nápravy. Přední náprava je kotvena do pomocného rámu, zadní je kotvena do motoru a převodovky. Přední i zadní náprava je vybavena stabilizátorem tvaru Z. Ten je tvořen celkem třemi tyčemi namáhanými na ohyb nebo tah. Prostřední tyč je ve svém středu kotvena v ložisku, k oběma jejím koncům je přes unibalové ložiska připevněna další tyč, která je na svém konci kotvena do horního ramene nápravy. Horní propružení jednoho kola tak má za následek nadlehčení druhého kola a tedy snížení náklonu karoserie při jízdě v zatáčkách. Zadní náprava je navíc vybavena systémem s názvem Triplex. To znamená, že jsou obě kola navíc spojena dalším teleskopickým tlumičem. Ten má dvě funkce. První je zabráňování přílišnému přidřepnutí zadní části auta při prudké akceleraci a druhá je, že tento speciální tlumič působí proti silám od Z stabilizátoru při jízdě rovně pro nerovné cestě a tím zlepšuje komfort. Zároveň může být použito tužšího stabilizátoru než by mohlo být bez systému Triplex. [108]

Jelikož se jedná o podvozek na supersportovním automobilu, je jeho hlavním úkolem maximální možná příčná i podélná přilnavost pneumatik, to se inženýrům v Koenigsegg podařilo výborně, protože Agera R dosahuje bočního přetížení až 1,6 g, a zrychlení z 0 na 100 km/h za 2,9 vteřin. Nevýhodami jsou pak omezený prostor uvnitř vozidla a samozřejmě cena plynoucí z malosériové produkce a použití špičkových technologií. [109]



Obr. 4 – 16 Zadní lichoběžníková náprava Koenigsegg Agera R vybavená systémem Triplex [110]



## ZÁVĚR

Tato bakalářská práce popsala a na konkrétních řešeních dokumentovala historický vývoj náprav vozidel. Je patrné úsilí konstruktérů vyhovět mnohdy protichůdným požadavkům na podvozkové skupiny automobilů. Náprava musí zajišťovat výborné jízdní vlastnosti, tedy maximální přilnavost pneumatiky a to jak za všech povětrnostních okolností, tak také při všech možných nastalých situacích od prudké akcelerace, brzdění nebo při prudké změně směru a rychlé jízdě v zatáčce. Zároveň s tím je kladen důraz na komfort odpružení a minimum pronikajícího hluku do kabiny. Dalším požadavkem je co možná nejjednodušší a nejlevnější konstrukce a návrh a pak také co možná nejmenší prostorová náročnost. Každému z těchto požadavků byla v průběhu celých dějin automobilového průmyslu kladena větší nebo menší váha podle plánovaného využití automobilu, celkové ceny a cílové skupiny zákazníků.



## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] *Historie automobilu* [online]. 2013 [cit. 2013-03-17]. Autamilda.estranky.cz Dostupné z WWW: <http://www.autamilda.estranky.cz/clanky/historie-automobilu.html>
- [2] *Elektromobily - historie a současnost* [online]. 2013 [cit. 2013-03-17]. Pro-energy.cz Dostupné z WWW: <http://www.pro-energy.cz/clanky7/3.pdf>
- [3] *The World's Oldest Original Car: 1888 Benz Patent Motor Car* [online]. 2013 [cit. 2013-03-17]. Autospectator.com. Dostupné z WWW: <http://www.autospectator.com/cars/mercedes-benz/0019108-world-039-s-oldest-original-car-1888-benz-patent-motor-car>
- [4] GEORGANO, G. N.. *Cars: Early and Vintage*, London, 1985, UK: Grange-Universal. 128s.
- [5] CSERE, C. (1988). *10 Best Engineering Breakthroughs*. Car and Driver 33 (7): 62s.
- [6] *Citroen Traction Avant* [online] 2013 [cit. 2013-03-24] Citroenet.org. Dostupné z WWW: <http://www.citroenet.org.uk/passenger-cars/ac/traction/traction-avant.html>
- [7] *Hanomag 2/10 PS* [online]. 2013 [cit. 2013-03-24] RemarkableCars.com. Dostupné z WWW: <http://www.remarkablecars.com/photos/1928-hanomag-kommisbrot-11508.jpg>
- [8] *The history of the Beetle* [online]. 2013 [cit. 2013-03-24] Volkswest.co.uk. Dostupné z WWW: [http://www.volkswest.co.uk/beetle\\_history2.html](http://www.volkswest.co.uk/beetle_history2.html)
- [9] *Tatra T600 Tatraplan* [online]. 2013 [cit. 2013-03-25] Tatraplan.co.uk. Dostupné z WWW: <http://www.tatraplan.co.uk/>
- [10] *Lancia Aprilia (1936 - 1939) Description & History* [online]. 2013 [cit. 2013-03-25] AutoEvolution.com. Dostupné z WWW: <http://www.autoevolution.com/engine/lancaia-aprilia-1936-14.html>
- [11] *Chrysler Turbine Cars Meeting Fate In Crusher* [online]. 2013 [cit. 2013-03-25] Jalopnik.com. Dostupné z WWW: <http://jalopnik.com/5572703/video-chrysler-turbine-cars-meeting-fate-in-crusher>
- [12] *Production and Distribution Of The DATSUN 240Z* [online]. 2013 [cit. 2013-03-25] Zhome.com. Dostupné z WWW: <http://zhome.com/History/240ZProduction/240ZProduction.htm>
- [13] *History of the Porsche 911* [online]. 2013 [cit. 2013-03-25] WhatAboutCars.com. Dostupné z WWW: <http://whataboutcars.com/2012/04/history-of-the-porsche-911/>
- [14] *Alfa Romeo Giulietta Sprint Bertone 1954-1965* [online]. 2013 [cit. 2013-03-25] CarinPicture.com. Dostupné z WWW: <http://carinpicture.com/2012/05/alfa-romeo-giulietta-sprint-bertone-1954-1965/alfa-romeo-giulietta-sprint-bertone-1954-1965-photo-16/>



- [15] *Fiat Air Technologies* [online]. 2013 [cit. 2013-03-26] Fiat.com. Dostupné z WWW: <http://www.fiat.com/com/air-technologies>
- [16] *Renault Espace 1984* [online]. 2013 [cit. 2013-03-27] Carstyling.ru. Dostupné z WWW: [http://www.carstyling.ru/en/car/1984\\_renault\\_espace/images/25679/](http://www.carstyling.ru/en/car/1984_renault_espace/images/25679/)
- [17] *The Charges Are Flying Over a Test of Tesla's Charging Network* [online]. 2013 [cit. 2013-03-27] Wheels.blogs.nytimes.com. Dostupné z WWW: <http://wheels.blogs.nytimes.com/2013/02/12/the-charges-are-flying-over-a-test-of-teslas-charging-network/>
- [18] *Autos without axles promise easier riding* [online]. 1932 [cit. 2013-03-28] Popular mechanics. Dostupné z WWW: [http://books.google.cz/books?id=g\\_EDAAAAMBAJ&pg=PA623&dq=Popular+Science+1930+plane+%22Popular+Mechanics%22&hl=en&ei=WeqGToqNOYbogQfVucn6Cg&s\\_a=X&oi=book\\_result&ct=result&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=true](http://books.google.cz/books?id=g_EDAAAAMBAJ&pg=PA623&dq=Popular+Science+1930+plane+%22Popular+Mechanics%22&hl=en&ei=WeqGToqNOYbogQfVucn6Cg&s_a=X&oi=book_result&ct=result&redir_esc=y#v=onepage&q&f=true)
- [19] *1924 Lancia Lambda Torpedo Tourer* [online]. 2011 [cit. 2013-03-28] Classic-auctions.com. Dostupné z WWW: <http://www.classic-auctions.com/Auctions/08-06-2011-ThePavilionGardens-1290/1924LanciaLambdaTorpedoTourer-33117.aspx>
- [20] *The story of the rear engined passenger car* [online] 2011 [cit. 2013-03-31] Lightauto.com. Dostupné z WWW: <http://www.lightauto.com/simple%20history2.html>
- [21] *Volkswagen Beetle* [online] 2013 [cit. 2013-03-31] Wikipedia.org. Dostupné z WWW: [http://en.wikipedia.org/wiki/Volkswagen\\_Beetle](http://en.wikipedia.org/wiki/Volkswagen_Beetle)
- [22] *Ferrari 250 GT Series* [online] 2006 [cit. 2013-03-31] Autozine.org. Dostupné z WWW: <http://www.autozine.org/Archive/Ferrari/classic/250GT.html>
- [23] *1961 Porsche 356b Super Coupe* [online] 2013 [cit. 2013-03-31] Dusty Cars. Dostupné z WWW: <https://plus.google.com/photos/106723428487424188160/albums/5860455634321302817>
- [24] *Zadní náprava typu De Dion* [online] 2013 [cit. 2013-04-04] Asimov Alfa75. Dostupné z WWW: <http://alfa75.macroware.cz/index.php?url=tech2.html>
- [25] *Náprava MacPherson* [online] 2013 [cit. 2013-04-04] AutoLexicon.net. Dostupné z WWW: <http://cs.autolexicon.net/articles/naprava-macpherson-mcpherson/>
- [26] *Independent Suspension* [online] 2000 [cit. 2013-04-04] Autozine.org. Dostupné z WWW: [http://www.autozine.org/technical\\_school/suspension/tech\\_suspension21.htm](http://www.autozine.org/technical_school/suspension/tech_suspension21.htm)
- [27] *E30 Rear Semi-Trailing Arm Roll Center* [online] 2013 [cit. 2013-04-04] E30m3project.com. Dostupné z WWW: [http://www.e30m3project.com/e30m3performance/tech\\_articles/susp-tech/roll\\_center/index.htm](http://www.e30m3project.com/e30m3performance/tech_articles/susp-tech/roll_center/index.htm)





- [28] *Independent Rear Suspension* [online] 2013 [cit. 2013-04-04] RodAndCustomMagazine.com. Dostupné z WWW: [http://www.rodandcustommagazine.com/techarticles/0802rc\\_independent\\_rear\\_suspension/viewall.html](http://www.rodandcustommagazine.com/techarticles/0802rc_independent_rear_suspension/viewall.html)
- [29] *Development of 928* [online] 2013 [cit. 2013-04-04] 928s4vr.com. Dostupné z WWW: <http://www.928s4vr.com/928s4002.htm>
- [30] *Jaguar IRS* [online] 2013 [cit. 2013-04-04] Wikimedia.org. Dostupné z WWW: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3d/Jag\\_IRS\\_1st\\_gen\\_OB\\_brakes.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3d/Jag_IRS_1st_gen_OB_brakes.jpg)
- [31] *Víceprvková náprava* [online] 2013 [cit. 2013-04-04] AutoLexicon.net. Dostupné z WWW: <http://cs.autolexicon.net/articles/viceprvkova-naprava/>
- [32] *matysek - Nissan Sunny 1.6 16V Gti* [online] 2012 [cit. 2013-04-04] JDM-meeting.cz. Dostupné z WWW: <http://jdm-meeting.cz/forum/viewtopic.php?f=6&t=3275>
- [33] *What is four wheel steering* [online] 2013 [cit. 2013-04-04] Wisegeek.com. Dostupné z WWW: <http://www.wisegeek.com/what-is-four-wheel-steering.htm>
- [34] *List of automotive superlatives* [online] 2013 [cit. 2013-04-04] Wikipedia.org. Dostupné z WWW: [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_automotive\\_superlatives](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_automotive_superlatives)
- [35] *Prelude's 4WS systém* [online] 2008 [cit. 2013-04-05] Ek9.org. Dostupné z WWW: <http://www.ek9.org/forum/general-chat/2981-preludes-4ws-system.html>
- [36] *Tuhá náprava* [online] 2013 [cit. 2013-04-06] AutoLexicon.net. Dostupné z WWW: <http://cs.autolexicon.net/articles/tuha-naprava/>
- [37] *Rover P6 Design Inovations* [online] 2007 [cit. 2013-04-07] BritishV8.org. Dostupné z WWW: <http://www.britishv8.org/articles/rover-p6-design.htm>
- [38] *DeDion Axle* [online] 2013 [cit. 2013-04-07] Kfz-tech.de. Dostupné z WWW: <http://kfz-tech.de/Engl/DeDionAchse.htm>
- [39] SEDLÁŘ, J. *Typy náprav osobních automobilů*. Brno: vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 37s. Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Porteš, Dr.
- [40] *Jacking & Tuck Under* [online] 2007 [cit. 2013-04-07] Herald-tips-tricks.wikidot.com. Dostupné z WWW: <http://herald-tips-tricks.wikidot.com/rear-suspension:jacking-and-tuck-under>
- [41] *Zadní náprava vozidel Škoda 105 – 136* [online] 2001 [cit. 2013-04-07] Skoda.panda.cz. Dostupné z WWW: <http://skoda.panda.cz/clanek.php?id=219>
- [42] *Lichoběžníková náprava* [online] 2013 [cit. 2013-04-07] AutoLexicon.net. dostupné z WWW: <http://cs.autolexicon.net/articles/lichobeznikova-naprava/>
- [43] *Lotus Elan Front Suspension* [online] 2013 [cit. 2013-04-07] Gglotus.org. dostupné z WWW: <http://www.gglotus.org/ggtech/m100-lcu-manual/body-manual.htm>



- [44] *Alfa Romeo 159: daring and ambitious* [online] 2005 [cit. 2013-04-07] AutoPressNews.com. Dostupné z WWW: <http://www.autopressnews.com/2005/m08eng/alfa/159.shtml>
- [45] *The MacPherson Strut* [online] 2009 [cit. 2013-04-08] AteUpWithMotor.com. Dostupné z WWW: <http://ateupwithmotor.com/technology/150-macpherson-strut-history.html>
- [46] SVEDUNG, L. *Multi-body dynamics of vehicle suspensions*. Melbourne: The University of Melbourne, 2000. Master thesis.
- [47] *MacPherson Strut. Rear* [online] 2013 [cit. 2013-04-09] Geocities.ws. Dostupné z WWW: [http://www.geocities.ws/cesargrau/suspensionwebpage\\_macp\\_rear.html](http://www.geocities.ws/cesargrau/suspensionwebpage_macp_rear.html)
- [48] *Kliková náprava* [online] 2013 [cit. 2013-04-10] AutoLexicon.cz. Dostupné z WWW: <http://cs.autolexicon.net/articles/klikova-naprava/>
- [49] ŠEVČÍK, J. *Nápravy osobních a závodních automobilů*. Brno: vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 44s. Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Porteš, Dr.
- [50] *Twist Beam. Rear*. [online] 2013 [cit. 2013-04-10] Geocities.ws. Dostupné z WWW: [http://www.geocities.ws/cesargrau/suspensionwebpage\\_twist\\_beam.html](http://www.geocities.ws/cesargrau/suspensionwebpage_twist_beam.html)
- [51] *New Opel Astra chassis boosts dynamics, handling and comfort* [online] 2009 [cit. 2013-04-10] Gminsidenews.com. Dostupné z WWW: <http://www.gminsidenews.com/forums/f16/new-opel-astra-chassis-boosts-dynamics-handling-comfort-81634/>
- [52] ETZOLD, Hans Rüdiger, Dr. *Jak na to? BMW 3er E30*. 1. Vydání. České Budějovice, 1996. 260s. ISBN 80-85828-44-8
- [53] *Podvozek Škody Octavia III: Vlečená zadní náprava nebo víceprvková?* [online] 2013 [cit. 2013-04-14] Auto.cz. Dostupné z WWW: <http://www.auto.cz/podvozek-skody-octavia-iii-vleцена-zadni-naprava-viceprvkova-73747>
- [54] *Víceprvková náprava* [online] 2013 [cit. 2013-04-14] AutoLexicon.net. Dostupné z WWW: <http://cs.autolexicon.net/articles/viceprvkova-naprava/>
- [55] *Alfa Romeo Giulietta - Rear Suspension* [online] 2010 [cit. 2013-04-14] SeriousWheels.com. Dostupné z WWW: <http://www.seriouswheels.com/2010/a/2010-Alfa-Romeo-Giulietta-Rear-Suspension-1024x768.htm>
- [56] *Multi link suspension on the 2010Mercedes-Benz E-Klasse* [online] 2010 [cit. 2013-04-14] AutoEvolution.com. Dostupné z WWW: <http://www.autoevolution.com/news-image/how-multi-link-suspension-works-7804-2.html>
- [57] *Podvozek osobního automobilu – pružiny* [online] 2013 [cit. 2013-04-15] Auta5p.eu. Dostupné z WWW: <http://auta5p.eu/informace/podvozek/podvozek2.php>



- [58] *Adamovští oprášili firemní historii, tentokrát voní benzinem* [online] 2007 [cit. 2013-4-15] Strategie.e15.cz. Dostupné z WWW: <http://strategie.e15.cz/prilohy/s-print/adamovsti-oprasili-firemni-historii-tentokrat-voni-benzinem>
- [59] *Andre Hartford Shock Absorbers* [online] 2005 [cit. 2013-04-15] AndreHartfordLtd.co.uk. Dostupné z WWW: <http://www.andrehartfordltd.co.uk/main.htm>
- [60] *Friction disc shock absorbers. Bugatti type 13* [online] 2009 [cit. 2013-04-15] Flickr.com. Dostupné z WWW: <http://www.flickr.com/photos/grahamlittle/3327940593/sizes/l/in/photostream/>
- [61] *CCOTY 1966 Nomination: Renault R16 – Here's The Real Car Of The Future* [online] 2012 [cit. 2013-04-16] Curbsideclassic.com. Dostupné z WWW: <http://www.curbsideclassic.com/blog/ccoty-1966-nomination-renault-r16-heres-the-real-car-of-the-future/>
- [62] *Monroe History* [online] 2013 [cit. 2013-04-16] Monroe.com. Dostupné z WWW: <http://www.monroe.com/about-monroe/Monroe-History>
- [63] *Shock absorbers* [online] 2012 [cit. 2013-04-16] Classic-car-buyer.co.uk. Dostupné z WWW: <http://www.classic-car-buyer.co.uk/features/trade-tips/1216-shock-absorbers>
- [64] *Hot Rod Shock Absorbers Ford Lever Arm Shocks* [online] 2010 [cit. 2013-04-16] RodAndCustomMagazine.com. Dostupné z WWW: [http://www.rodandcustommagazine.com/techarticles/1002rc\\_hot\\_rod\\_shock\\_absorbers/photo\\_17.html](http://www.rodandcustommagazine.com/techarticles/1002rc_hot_rod_shock_absorbers/photo_17.html)
- [65] *Intrax High-end suspension* [online] 2013 [cit. 2013-04-16] IntraxRacing.nl. Dostupné z WWW: <http://en.intraxracing.nl/historie/>
- [66] *Design Elements of the 1957 Cadillac Eldorado Brougham* [online] 2013 [cit. 2013-04-16] Auto.HowStuffWorks.com. Dostupné z WWW: <http://auto.howstuffworks.com/1957-1960-cadillac-eldorado-brougham3.htm>
- [67] *Lincoln Mark VII air suspension system* [online] 2010 [cit. 2013-04-16] Prlog.org. Dostupné z WWW: <http://www.prlog.org/10787201-lincoln-mark-vii-air-suspension-system.html>
- [68] *Stout Scarab* [online] 2012 [cit. 2013-04-16] Hemmings.com. Dostupné z WWW: <http://blog.hemmings.com/index.php/tag/stout-scarab/>
- [69] *A Short History of Citroen Suspension* [online] 2000 [cit. 2013-04-16] Citroenet.org.uk. Dostupné z WWW: <http://www.citroenet.org.uk/miscellaneous/suspension/suspension7.html>
- [70] *Vive La France!* [online] 2010 [cit. 2013-04-16] Motorfetish.wordpress.com Dostupné z WWW: <http://motorfetish.wordpress.com/page/2/>
- [71] *Bose Suspension System* [online] 2013 [cit. 2013-04-17] HowStuffWorks.com Dostupné z WWW: <http://auto.howstuffworks.com/car-suspension9.htm>



- [72] *Podvozkové centrum APM Bilstein - 9. díl: Tlumiče* [online] 2011 [cit. 2013-04-17] AutoProfiTeam.cz. Dostupné z WWW: <http://www.autoprofiteam.cz/article.php?artid=670>
- [73] *Konstrukce tlumičů Koni* [online] 2013 [cit. 2013-04-17] MJAuto.cz. Dostupné z WWW: [http://www.mjauto.cz/editor/new/koni\\_konstrukce.html](http://www.mjauto.cz/editor/new/koni_konstrukce.html)
- [74] *Citroen Hydraulic System* [online] 2011 [cit. 2013-04-17] Citroenet.org.uk. Dostupné z WWW: <http://www.citroenet.org.uk/miscellaneous/hydraulics/hydraulics-1.html>
- [75] *Hydropneumatické odpružení* [online] 2008 [cit. 2013-04-17] Xantiacclub.cz. Dostupné z WWW: <http://www.xantiacclub.cz/view.php?cislocclanku=2008010001>
- [76] *How Air Suspension Systems Work* [online] 2013 [cit. 2013-04-19] HowStuffWorks.com. Dostupné z WWW: <http://auto.howstuffworks.com/air-suspension-systems.htm>
- [77] *Porsche Panamera Front Suspension* [online] 2010 [cit. 2013-04-19] CarAndDriver.com. Dostupné z WWW: <http://www.caranddriver.com/photos-09q1/268747/2010-porsche-panamera-front-suspension-photo-268779>
- [78] *Model T Ford Production* [online] 2007 [cit. 2013-22-4] Mtfca.com. Dostupné z WWW: <http://www.mtfca.com/encyclo/fdprod.htm>
- [79] *Top 10 Ford Model T Tech Innovations* [online] 2008 [cit. 2013-04-22] PopularMechanics.com. Dostupné z WWW: <http://www.popularmechanics.com/cars/news/vintage-speed/4284734>
- [80] *My 1923 Model T Ford Restoration Project* [online] 2007 [cit. 2013-04-22] Stanward.net. Dostupné z WWW: <http://stanward.net/ModelTRestoration.php>
- [81] *Ford Model T Suspension* [online] 2010 [cit. 2013-04-22] Flickr.com. Dostupné z WWW: <http://www.flickr.com/photos/thehenryford/4974588808/sizes/l/in/photostream/>
- [82] *1969 Citroen 2CV – The Most Original Car Ever* [online] 2012 [cit. 2013-04-22] CurbsideClassic.com. Dostupné z WWW: <http://www.curbsideclassic.com/curbside-classics-european/curbside-classic-1969-citroen-2cv-the-most-original-car-ever/>
- [83] *Citroen 2CV Suspension* [online] 2013 [cit. 2013-04-22] Autospeed.com. Dostupné z WWW: <http://www.autospeed.com/cms/gallery/article.html?a=111302&i=8>
- [84] *New car! 2CV Dolly* [online] 2010 [cit. 2013-04-22] AutosHITE.com. Dostupné z WWW: <http://www.autoshite.com/phpbb3/viewtopic.php?p=160335&sid=0679d7ce44f038700b8dd6db07c6407d>
- [85] *1957 Cadillac Air Suspension* [online] 2013 [cit. 2013-04-28] Ridetech.com Dostupné z WWW: [http://www.ridetech.com/files\\_AR/techarticles/1957CADDYFRONT.pdf](http://www.ridetech.com/files_AR/techarticles/1957CADDYFRONT.pdf)





- [86] *The Fabulous Cadillac Eldorado Brougham* [online] 2005 [cit. 2013-04-28] CadillacDatabase.org. Dostupné z WWW: [http://www.cadillacdatabase.org/Dbas\\_txt/Brg\\_chap.htm](http://www.cadillacdatabase.org/Dbas_txt/Brg_chap.htm)
- [87] *1957 Cadillac Eldorado Brougham* [online] 2004 [cit. 2013-04-28] EldoradoBrougham.com. Dostupné z WWW: <http://www.eldoradobrougham.com/123/>
- [88] *1960-1963 Chevrolet Corvair – GM's Deadliest Sin?* [online] 2012 [cit. 2013-04-29] Curbsideclassic.com. Dostupné z WWW: <http://www.curbsideclassic.com/automotive-histories/automotive-history-1960-1963chevrolet-corvair-gms-deadliest-sin/>
- [89] *Forward Control Corvairs* [online] 2005 [cit. 2013-04-29] Rad\_davis.sent.com. Dostupné z WWW: [http://rad\\_davis.sent.com/fc1.html](http://rad_davis.sent.com/fc1.html)
- [90] *Corvair Handling and Stability* [online] 2006 [cit. 2013-04-29] CorvairCorsa.com. Dostupné z WWW: <http://www.corvaircorsa.com/handling02.html>
- [91] GARNIER, Peter. *Buying Secondhand: BMW 1800 and 2000*. Londýn. 1974. Autocar. 141: strany 54–56.
- [92] *BMW 2002 Turbo Road Test* [online] 1974 [cit. 2013-04-29] Flickr.com. Dostupné z WWW: <http://www.flickr.com/photos/triggerscarstuff/3588393215/in/photostream/>
- [93] *BMW 320i Parts, Drawings, and Tech-Tips Page* [online] 2006 [cit. 2013-04-29] Lexam.net. Dostupné z WWW: <http://www.lexam.net/peter/carnut/320parts.html>
- [94] *Pure Entertainment: BMW's Greatest Jumps* [online] 2013 [cit. 2013-04-29] EndrasBMW.com. Dostupné z WWW: <http://www.endrasbmw.com/24/pure-entertainment-bmws-greatest-jumps/>
- [95] *Alfa Romeo Alfetta* [online] 2010 [cit. 2013-04-30] AlfaWorkshop.co.uk. Dostupné z WWW: [http://www.alfaworkshop.co.uk/alfa\\_romeo\\_Alfetta-Berlina.shtml](http://www.alfaworkshop.co.uk/alfa_romeo_Alfetta-Berlina.shtml)
- [96] *Alfa Romeo Alfetta GTV 2000 - BMW 320i E21 & Lancia Beta 2000 Coupe Group Road Test* [online] 1976 [cit. 2013-04-30] Flickr.com. Dostupné z WWW: <http://www.flickr.com/photos/triggerscarstuff/6629768145/in/photostream/>
- [97] *1972 Alfa Romeo Spider-Coupé Alfetta* [online] 2013 [cit. 2013-04-30] Weilinet.com. Dostupné z WWW: [http://www.weilinet.com/Info.aspx?mid=509&fn=1972-Alfa-Romeo-Spider-Coup%C3%A9-Alfetta#.UX\\_oz6IqxF](http://www.weilinet.com/Info.aspx?mid=509&fn=1972-Alfa-Romeo-Spider-Coup%C3%A9-Alfetta#.UX_oz6IqxF)
- [98] *Running gear* [online] 2013 [cit. 2013-04-30] Volkswagen.workshop-manuals.com. Dostupné z WWW: <http://volkswagen.workshop-manuals.com/golf-mk1/index.php?id=3>
- [99] *Mazda 323 1300 DL - Renault 14 TL & Volkswagen Golf 1100 Mk1 Group Road Test* [online] 1977 [cit. 2013-04-30] Flickr.com. Dostupné z WWW: <http://www.flickr.com/photos/triggerscarstuff/6673527621/>
- [100] *VW Golf Gti Mk1* [online] 2011 [cit. 2013-04-30] JustinLeighton.com. Dostupné z WWW: [http://www.justinleighton.com/blog/topgear-power-test-tv-television-show-uk/the-golf-gti/attachment/jl1\\_2083/](http://www.justinleighton.com/blog/topgear-power-test-tv-television-show-uk/the-golf-gti/attachment/jl1_2083/)



- [101] *The Advanced Technology of Multilink Rear Suspension* [online] 2005 [cit. 2013-05-03] Kenrockwell.com. Dostupné z WWW: <http://www.kenrockwell.com/190d/>
- [102] *Replacing Your Rear Multi-Link Suspension - Mercedes Benz* [online] 2013 [cit. 2013-05-03] PelicanParts.com. Dostupné z WWW: [http://www.pelicanparts.com/techarticles/Mercedes-190E/30-SUSPEN-Replacing\\_Your\\_Rear\\_Multi\\_Link\\_Suspension/30-SUSPEN-Replacing\\_Your\\_Rear\\_Multi\\_Link\\_Suspension.htm](http://www.pelicanparts.com/techarticles/Mercedes-190E/30-SUSPEN-Replacing_Your_Rear_Multi_Link_Suspension/30-SUSPEN-Replacing_Your_Rear_Multi_Link_Suspension.htm)
- [103] *Mercedes-Benz 190E 2.0 Test* [online] 1983 [cit. 2013-05-03] Flickr.com. Dostupné z WWW: <http://www.flickr.com/photos/triggerscarstuff/3387236201/in/photostream/>
- [104] *Mercedes-Benz W201 190 turns 30* [online] 2012 [cit. 2013-05-03] Blog.Hemmings.com. Dostupné z WWW: <http://blog.hemmings.com/index.php/2012/11/26/mercedes-benz-w201-190-turns-30/>
- [105] *1990-05 Mazda MX-5 Miata subframes* [online] 2006 [cit. 2013-05-03] CheapSportsCar.net. Dostupné z WWW: <http://www.cheapsportscar.net/images/subframes.pdf>
- [106] *BMW Z1 - Mazda Miata MX-5 - Lotus Elan SE & TVR S Group Road Test* [online] 1990 [cit. 2013-05-03] Flickr.com. Dostupné z WWW: <http://www.flickr.com/photos/triggerscarstuff/4502364107/>
- [107] *Prueba Mazda Miata, eternamente joven* [online] 2010 [cit. 2013-05-03] 8000vueltas.com. Dostupné z WWW: <http://8000vueltas.com/2010/06/28/mazda-miata-eternamente-joven>
- [108] *Triplex Suspension Explained - Inside Koenigsegg* [online] 2013 [cit. 2013-05-06] Youtube.com. Dostupné z WWW: <http://www.youtube.com/watch?v=bbgjRBT4ltM>
- [109] *Koenigseggs 2013 Agera R* [online] 2013 [cit. 2013-05-06] U2know.net. Dostupné z WWW: [http://u2know.net/top101/?act=view&albom\\_id=31](http://u2know.net/top101/?act=view&albom_id=31)
- [110] *Koenigsegg Agera Rtriplex Suspension* [online] 2013 [cit. 2013-05-06] Iwallscreen.com. Dostupné z WWW: <http://www.iwallscreen.com/wallpaper/1280x960/koenigsegg-agera-rtriplex-suspension-11007.html>